

(11)Publication number : 2001-074837  
 (43)Date of publication of application : 23.03.2001

(51)Int.Cl.

G01S 15/58  
 G01P 3/36

(21)Application number : 11-250036  
 (22)Date of filing : 03.09.1999

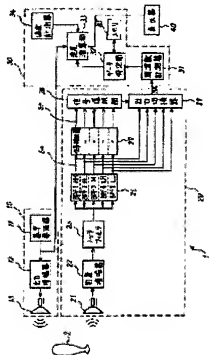
(71)Applicant : RICOH MICROELECTRONICS CO LTD  
 (72)Inventor : IKEUCHI FUMIO

## (54) METHOD AND DEVICE FOR MEASURING LINEAR VELOCITY OF APPROXIMATELY CIRCULARLY MOVING BODY

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To measure the linear velocity of an approximately circularly moving body of an object to be measured with a high precision at a position farther distant from the body than before.

**SOLUTION:** The measuring device is arranged in the tangential direction of a measurement point on the track of the head part of a bat 2. Then an ultrasonic wave of reference frequency  $F_0$  is sent from an ultrasonic wave transmission part 10 to the bat, its reflected wave is received by an ultrasonic wave receiver 21 of an ultrasonic wave reception part 20, and a Doppler signal component from the bat is extracted from the received ultrasonic wave by a notch filter 25 and a filter group 26. A frequency measuring instrument 31 measures the frequency of the extracted Doppler signal component, and a frequency data having the highest frequency is specified by a data specification part 32 from the sampled frequency data. Based on the specified frequency data, a speed arithmetic part 33 calculates the velocity, which is displayed on a display 40.



JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

D4

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] Waves are transmitted towards a measuring object which moves a wave generated based on a reference signal of predetermined frequency by approximate circle movement. In a linear velocity measuring method of an approximate circle movement body which receives a reflected wave from this measuring object, and measures linear velocity of this measuring object based on a Doppler signal component of this reflected wave, The above-mentioned wave is transmitted from a tangential direction of the point of measurement on an orbit of the above-mentioned measuring object, Receive the reflected wave in this tangential direction, and two or more Doppler signal components of a reflected wave from this measuring object that received waves are sampled, A linear velocity measuring method of an approximate circle movement body specifying a specific sampling value with frequency which is equivalent to maximum velocity out of sampling data of two or more sampled Doppler signal components, and calculating relative-displacement speed of this measuring object based on this specific sampling value.

[Claim 2] When sampling a Doppler signal component of a reflected wave from the above-mentioned measuring object in a linear velocity measuring method of an approximate circle movement body of Claim 1, A linear velocity measuring method of an approximate circle movement body sampling only a Doppler signal component with frequency equivalent to speed range which this measuring object can take.

[Claim 3] When the above-mentioned specific sampling value is specified out of the above-mentioned sampling data in a linear velocity measuring method of Claim 1 or an approximate circle movement body of 2, It is judged whether based on aging of frequency of these sampling data, this specific sampling value is included in these sampling data, A linear velocity measuring method of an approximate circle movement body sampling a Doppler signal component of a reflected wave from the above-mentioned measuring object again when it judges with specifying this specific sampling value and on the other hand not being contained out of the sampling data when it judges with being contained.

[Claim 4] In a linear velocity measuring method of an approximate circle movement body of Claim 3, aging of frequency of the above-mentioned sampling data, A linear velocity measuring method of an approximate circle movement body judging with this specific sampling value not being included in these sampling data when equivalent to speed change which changes by predetermined variation of small within the limits per unit time.

[Claim 5] In a linear velocity measuring method of Claim 3 or an approximate circle movement body of 4, aging of frequency of the above-mentioned sampling data, When equivalent to speed change which increases by variation of the 2nd less than default value per unit time after a size of speed of the above-mentioned measuring object increases by variation of the 1st more than default value per unit time, A linear velocity measuring method of an approximate circle movement body judging with this specific sampling value being included in these sampling data.

[Claim 6] In a linear velocity measuring method of an approximate circle movement body of Claim 3, 4, or 5, aging of frequency of the above-mentioned sampling data, When equivalent to speed change which decreases by variation of the 4th less than default value per unit time after a size of speed of the above-mentioned measuring object decreases by variation of the 3rd more than default value per unit time, A linear velocity measuring method of an approximate circle movement body judging with this specific sampling value being included in these sampling data.

[Claim 7] In a linear velocity measuring method of Claims 3, 4 and 5 and an approximate circle movement body of 6, aging of frequency of the above-mentioned sampling data, A linear velocity measuring method

of an approximate circle movement body judging with the above-mentioned specific sampling value not being included in these sampling data when a size of speed of the above-mentioned measuring object is equivalent to speed change which increases by variation of the 1st above-mentioned more than default value per unit time.

[Claim 8] In a linear velocity measuring method of Claims 3, 4, 5 and 6 or an approximate circle movement body of 7, Speed change in which a size of speed of the above-mentioned measuring object decreases by variation of the 4th less than default value per unit time in aging of frequency of the above-mentioned sampling data. (it is hereafter called "a predetermined downward tendency".) -- a linear velocity measuring method of an approximate circle movement body judging with this specific sampling value being included in these sampling data when it corresponds.

[Claim 9] In a linear velocity measuring method of an approximate circle movement body of Claims 1, 2, 3 and 4, 5, 6 and 7, or 8, A linear velocity measuring method of an approximate circle movement body specifying a moving average deviation with frequency which calculates a moving average deviation of these sampling data using a moving average cost method, and is equivalent to maximum velocity out of this moving average deviation when the above-mentioned specific sampling value is specified out of the above-mentioned sampling data.

[Claim 10] A linear velocity measuring method of an approximate circle movement body characterized by using an ultrasonic wave, an electric wave, or a coherent light as the above-mentioned wave in a linear velocity measuring method of an approximate circle movement body of Claims 1, 2, 3 and 4, 5, 6, 7 and 8, or 9.

[Claim 11] A wave transmission means to turn to a measuring object a wave generated based on a reference signal of predetermined frequency, and to transmit waves, In a linear velocity measuring device of an approximate circle movement body provided with a wave-receiving means to receive a reflected wave from this measuring object, and a speed arithmetic means which calculates relative-displacement speed of this measuring object based on a Doppler signal component of this reflected wave, A sampling means which samples a Doppler signal component of a reflected wave from the above-mentioned measuring object, A data specifying means which specifies a specific sampling value with frequency which is equivalent to maximum velocity out of sampling data of two or more Doppler signal components sampled by this sampling means is established, A linear velocity measuring device of an approximate circle movement body which carries out the feature for calculating the above-mentioned relative-displacement speed by the above-mentioned speed arithmetic means based on this specific sampling value.

[Claim 12] A linear velocity measuring device of an approximate circle movement body sampling only a Doppler signal component in which the above-mentioned sampling means has the frequency equivalent to speed range which the above-mentioned measuring object can take in a linear velocity measuring device of an approximate circle movement body of Claim 11.

[Claim 13] In a linear velocity measuring device of Claim 11 or an approximate circle movement body of 12, when the above-mentioned data specifying means specifies the above-mentioned specific sampling value out of the above-mentioned sampling data, A linear velocity measuring device of an approximate circle movement body performing a linear velocity measuring method of an approximate circle movement body of Claims 3, 4, 5 and 6, 7, or 8.

[Claim 14] In a linear velocity measuring device of an approximate circle movement body of Claim 11, 12, or 13, A moving average calculating means which computes a moving average deviation of the above-mentioned sampling data using a moving average cost method is established, A linear velocity measuring device of an approximate circle movement body which carries out the feature for specifying a moving average deviation in which the above-mentioned data specifying means has the frequency which is equivalent to maximum velocity out of this moving average deviation, and calculating the above-mentioned relative-displacement speed by the above-mentioned speed arithmetic means based on the moving average deviation.

[Translation done.]

JP0 and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]This invention relates the linear velocity of an approximate circle movement body to the linear velocity measuring method of the approximate circle movement body to measure, and its device, and in detail, The ultrasonic wave which transmitted waves towards an approximate circle movement body like the head section at the time of swing of a bat, a golf club, etc., Based on the Doppler signal component produced by receiving the reflected wave of waves, such as an electric wave and light, it is related with the linear velocity measuring method which measures the speed of the head section, i.e., the linear velocity of this approximate circle movement body, and its device.

[0002]

[Description of the Prior Art]Conventionally, as this kind of a linear velocity measuring device, when a golf club is swung, what measures the speed of the head section which performs approximate circle movement is known. What comprised two or more light-emitting parts which made the sequence and were formed in accordance with the orbit of the above-mentioned head section as such a rate measurement device, and a light sensing portion which receives the beam which these light-emitting parts emit, respectively is indicated by JP,H4-12154,B. When the head section of a golf club crosses the beam which each above-mentioned light-emitting part emits, as for this device, each above-mentioned light sensing portion detects this head section. And based on the detection signal from each light sensing portion, the mean velocity and average acceleration of the above-mentioned head section are calculated from the distance between these light sensing portions, and this result of an operation is displayed on a speed indicator and an acceleration indicator.

[0003]In accordance with the orbit of the head section of a golf club, two or more magnetic sensors are formed in JP,H11-57105,A, The movement measuring device of the golf club head which detects passage of the source of a magnetic generation attached to this head section, calculates head speed and head acceleration based on the detection result, and displays the result of an operation with this magnetic sensor is indicated. A sensor coil is used for this device as the above-mentioned magnetic sensor, and it detects passage of this head section with the induction electric power generated in this sensor coil by passing the position in which the source of a magnetic generation attached to the above-mentioned head section separated from this sensor coil about 100-150 mm.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]However, in the conventional rate measurement device mentioned above, Even if it is a thing of the photoelectric method indicated by JP,H4-12154,B, There was a problem that it could not measure if the orbit of the head section of the golf club which is a measuring object is approached and the device main frame is not arranged even if it is a thing of the magnetic-field-detection type indicated by JP,H11-57105,A. In this case, it may happen that a measuring object contacts a rate measurement device and breaks this rate measurement device.

[0005]In addition, as what measures the head speed of a golf club, the spring-type rate measurement machine attached to the shaft part near the head of this golf club is produced commercially. There is a problem that the accuracy of measurement and its resolution are low although this device is cheap, and exact rate measurement cannot be carried out.

[0006]On the other hand, such linear velocity measurement of an approximate circle movement body has needs also in the head speed measurement at the time of bat swing of baseball in addition to head speed measurement of the golf club mentioned above. Although the measuring device in particular of the head speed of such a bat has not appeared on the market in a commercial scene as a product,

Conventionally, as the orbit of the head section of a bat is put, a photogenic organ and an electric eye are arranged in the perpendicular direction. When this head section crosses the beam which this light-emitting part emits, the device with which this light sensing portion computes the speed of this head section from the time when the beam was interrupted by this head section, and the width of this head section is proposed.

[0007]By the way, the rate measurement device which measures the speed of this measuring object based on the Doppler signal component produced by receiving conventionally the wave reflected from the measuring object which carries out an abbreviated straight-line motion like a ball using waves, such as a sound wave, is known. A wave transmission means for such a rate measurement device to turn to a measuring object the wave generated based on the reference signal of predetermined frequency, and to transmit waves. The reflected wave reflected from this subject is received, and it is considered as an input signal, and has composition provided with a wave-receiving means to extract the Doppler signal component in this input signal, and the speed arithmetic means which calculates the relative-displacement speed of this subject over this device based on this Doppler signal ingredient. According to this rate measurement device, the speed of this measuring object can be measured from the position which is separated from a measuring object to some extent.

[0008]Based on the reflected wave which received the Doppler shift, velocity operation of what carries out rate measurement like this rate measurement device using the Doppler effect is carried out to the speed direction of a measuring object. Therefore, when direction of speed makes a measuring object a fixed abbreviated straight-line motion object like a ball, there is little aging of the frequency of the Doppler signal component. As a result, if the average of that frequency data is computed, rate measurement can be carried out in high accuracy. On the other hand, when direction of speed (linear velocity) makes a measuring object what changes temporally like an approximate circle movement body, the cosine component of the linear velocity will calculate from the reflected wave which received the Doppler shift with this measuring object. Therefore, the frequency of this Doppler signal component changed a lot temporally, and even if it computed the average of that frequency data, it was not able to carry out exact rate measurement.

[0009]In the thing of a photoelectric method like the head speed measuring device of the bat which was indicated by above-mentioned JP,H4-12154,B and which was equipped and mentioned above, when it was used outdoors, there was also a problem that measurement was impossible in response to the influence of sunlight.

[0010]This invention is made in view of the above background, and the 1st purpose is to provide the linear velocity measuring method of the approximate circle movement body which can measure the linear velocity of this approximate circle movement body in high accuracy from the position which is separated from the approximate circle movement body which is a measuring object from before, and its device. The 2nd purpose is to provide the linear velocity measuring method of the approximate circle movement body in which measurement on the outdoors is possible.

[0011]

[Means for Solving the Problem]In order to attain the 1st purpose of the above, an invention of Claim 1. By a measuring means which receives a reflected wave from this measuring object while transmitting waves towards a measuring object which moves a wave generated based on a reference signal of predetermined frequency by approximate circle movement. In a linear velocity measuring method of an approximate circle movement body which measures linear velocity of this measuring object in the point of measurement on an orbit of this measuring object based on a Doppler signal component of this reflected wave, The above-mentioned measuring means is arranged to a tangential direction of the point of measurement on an orbit of the above-mentioned measuring object, Two or more Doppler signal components of a reflected wave from this measuring object that received waves by this measuring means are sampled. A specific sampling value with frequency which is equivalent to maximum velocity out of sampling data of two or more sampled Doppler signal components is specified, and relative-displacement speed of this measuring object is calculated based on this specific sampling value.

[0012]Thus, in a measuring method which performs velocity operation based on a Doppler signal component which a reflected wave from a measuring object has, Relative-displacement speed of this measuring object to this measuring means in a direction (henceforth "the direction of rate measurement") which contracts this measuring object that performs the measuring method, and a measuring means can be measured. However, when a measuring object is an approximate circle movement body, direction of linear velocity of this measuring object has turned to a tangential direction on the orbit, and the direction changes temporally, when this measuring object moves. Therefore, when

arranging the above-mentioned measuring means in arbitrary positions and measuring relative-displacement speed of an approximate circle movement body, a cosine component of linear velocity in an angle of the direction of rate measurement and a tangential direction of each point on the above-mentioned orbit to make will show the above-mentioned relative-displacement speed.

[0013]Then, in a linear velocity measuring method of this claim, a measuring means is first arranged on extension wire of the tangential direction to the point of measurement of a request on an orbit of a measuring object which moves by approximate circle movement. Thereby, direction and the above-mentioned rate measurement direction of linear velocity of a measuring object in the point of measurement can be coincided. At this time, relative-displacement speed of a measuring object calculated by this linear velocity measuring method turns into the linear velocity of this measuring object itself in the point of measurement.

[0014]The above-mentioned measuring means receives a reflected wave from a measuring object in each point on the above-mentioned orbit. Relative-displacement speed found from a reflected wave received by this measuring means, Since it is a cosine component of linear velocity of the above-mentioned measuring object as mentioned above, when this measuring means has been arranged to a direction of movement of a measuring object in the point of measurement, a value with the largest relative-displacement speed found from a reflected wave in the point of measurement will be shown. On the other hand, when the above-mentioned measuring means has been arranged to a counter direction to a direction of movement of a measuring object in the point of measurement, a value with the smallest relative-displacement speed found from a reflected wave in the point of measurement will be shown. Therefore, if a sampling value with frequency which is equivalent to maximum velocity out of sampling data of a Doppler signal component sampled by the above-mentioned measuring means is specified, relative-displacement speed of a measuring object in the point of measurement can be calculated, and linear velocity of a measuring object can be measured. Here, frequency equivalent to maximum velocity means the maximum frequency, when the above-mentioned measuring means has been arranged to a direction of movement of a measuring object in the point of measurement, and when it has arranged to a counter direction to a direction of movement, it means minimum frequencies.

[0015]Especially in a linear velocity measuring method of an approximate circle movement body of Claim 1 an invention of Claim 2, When sampling a Doppler signal component of a reflected wave from the above-mentioned measuring object, only a Doppler signal component with frequency equivalent to speed range which this measuring object can take is sampled.

[0016]In this linear velocity measuring method, since speed range which a measuring object can take is predicted and only a thing in that speed range is sampled, influence by a noise can be lessened.

[0017]In a linear velocity measuring method of Claim 1 or an approximate circle movement body of 2 an invention of Claim 3, When the above-mentioned specific sampling value is specified out of the above-mentioned sampling data, It is judged whether based on aging of frequency of these sampling data, this specific sampling value is included in these sampling data, When it judges with being contained, this specific sampling value is specified out of the sampling data, and when it judges with not being contained on the other hand, a Doppler signal component of a reflected wave from the above-mentioned measuring object is sampled again.

[0018]Processing of it in real time which repeats a sampling and performs it is attained until this linear velocity measuring method obtains sampling data which limit a sampling number and have the above-mentioned specific sampling value. If a method of processing in this real time is used, after sampling all Doppler signal components by a measuring object under movement, it will become possible to stop small a storage capacity of a memory measure which memorizes sampling data compared with a method of performing by batch processing. Such fault is also canceled, although a means to tell a device about a measurement start and an end is also needed and there is fault that an equipment configuration is complicated, in a method of performing by batch processing.

[0019]By the way, a sampling number and a sampling period are usually set up corresponding to speed range which a measuring object can take so that aging of frequency of sampling data can be judged. therefore -- a case where sampling data which do not almost have aging are obtained -- the sampling data -- a noise -- or it is thought that it is based on other reflective subjects which carry out uniform motion.

[0020]Then, he is trying to eliminate sampling data based on such a noise etc. in Claim 4. Namely, in a linear velocity measuring method of an approximate circle movement body of Claim 3 an invention of Claim 4, When aging of frequency of the above-mentioned sampling data is equivalent to speed change (henceforth "a predetermined eternal tendency") which changes by predetermined variation of small

within the limits per unit time. It judges with this specific sampling value not being included in these sampling data. Here, inclination to time of speed of a measuring object is a thing of speed change which is settled in a stipulated range, and "it is the predetermined variation of small within the limits per unit time" means speed change which is a grade from which this speed hardly changes.

[0021]In this linear velocity measuring method, a noise etc. can be removed by eliminating sampling data equivalent to a predetermined eternal tendency, and a factor of erroneous measurement can be reduced.

[0022]In a linear velocity measuring method of Claim 3 mentioned above, it is judged whether a specific sampling value is included in a part of sampling data of all the sampling data. However, when judged with "A specific sampling value is not included" by the above-mentioned judgment, a sampling will be started again and the above-mentioned judgment will be performed again. For this reason, when a specific sampling value has existed exactly between that 1st sampling and the 2nd sampling for example, while judging the 1st sampling data namely, this specific sampling value cannot be sampled. In this case, linear velocity measurement cannot be performed.

[0023]Then, it enables it to also extract sampling data near [ above-mentioned ] a specific sampling value in Claims 5 and 6. Namely, in a linear velocity measuring method of Claim 3 or an approximate circle movement body of 4 an invention of Claim 5, After a size of speed of the above-mentioned measuring object increases by variation of the 1st more than default value per unit time in aging of frequency of the above-mentioned sampling data, When equivalent to speed change which increases by variation of the 2nd less than default value per unit time, it judges with this specific sampling value being included in these sampling data. sampling data used as a determination object in this linear velocity measuring method are equivalent to speed change which serves as about 1 law, after increasing by comparatively large variation.

[0024]In a linear velocity measuring method of an approximate circle movement body of Claim 3, 4, or 5 an invention of Claim 6, After a size of speed of the above-mentioned measuring object decreases by variation of the 3rd more than default value per unit time in aging of frequency of the above-mentioned sampling data, When equivalent to speed change which decreases by variation of the 4th less than default value per unit time, it judges with this specific sampling value being included in these sampling data. Sampling data used as a determination object in this linear velocity measuring method are equivalent to speed change which decreases by comparatively large variation from an almost fixed state.

[0025]In a linear velocity measuring method of above-mentioned Claim 5, sampling data which are just before a specific sampling value which increases by variation of the 2nd less than default value per unit time can be extracted. In a linear velocity measuring method of above-mentioned Claim 6, sampling data immediately after a specific sampling value which decreases by variation of the 3rd more than default value per unit time can be extracted. On the other hand, since these sampling data will be judged to be noises etc. if it corresponds to Claim 4 which sampling data judged in the above-mentioned Claims 5 and 6 mentioned above, In a linear velocity measuring method of Claims 5 and 6, the 1st default value and the 4th default value are set up, and distinction with Claim 4 is aimed at.

[0026]Sampling data separated from this specific sampling value in time to sampling data near [ which is judged by a linear velocity measuring method of the above-mentioned Claims 5 and 6 ] a specific sampling value being needed by Reason mentioned above are unnecessary. So, these unnecessary sampling data are eliminated in Claim 7. Namely, speed change for which a size of speed of the above-mentioned measuring object increases an invention of Claim 7 in a linear velocity measuring method of Claims 3, 4 and 5 and an approximate circle movement body of 6 by variation of the 1st above-mentioned more than default value per unit time in aging of frequency of the above-mentioned sampling data (following.) It is called "a predetermined upward tendency". When it corresponds, it judges with the above-mentioned specific sampling value not being included in these sampling data.

[0027]In this linear velocity measuring method, it judged that sampling data which always have a predetermined upward tendency were left in time before the above-mentioned specific sampling value, and such sampling data are eliminated.

[0028]Back sampling data are more unnecessary than a specific sampling value similarly. However, even if a linear velocity measuring method of the above-mentioned Claims 5 and 6 is adopted and it extracts sampling data near a specific sampling value, a case where sampling data cannot be sampled too may happen. In this case, linear velocity in that measurement cannot be known at all.

[0029]Then, even if it is sampling data after a specific sampling value, it enables it to extract in Claim 8. Namely, in a linear velocity measuring method of Claims 3, 4, 5 and 6 or an approximate circle movement

body of 7 an invention of Claim 8, Speed change in which a size of speed of the above-mentioned measuring object decreases by variation of the 4th less than default value per unit time in aging of frequency of the above-mentioned sampling data. (it is hereafter called "a predetermined downward tendency") — when it corresponds, it judges with this specific sampling value being included in these sampling data

[0030]In this linear velocity measuring method, frequency set to NG without the ability to know linear velocity in that measurement at all can be lessened by judging with a specific sampling value being included in sampling data equivalent to a predetermined downward tendency. It is thought that such sampling data are not what is not much separated from a specific sampling value, and, moreover, aging of frequency is dramatically small near [ this ] a specific sampling value. Therefore, even if it judges with a specific sampling value being included in these sampling data, that error can be suppressed few.

[0031]In a linear velocity measuring method of an approximate circle movement body of Claims 1, 2, 3 and 4, 5, 6 and 7, or 8 an invention of Claim 9, When the above-mentioned specific sampling value is specified out of the above-mentioned sampling data, a moving average deviation of these sampling data is calculated using a moving average cost method, and a moving average deviation with frequency which is equivalent to maximum velocity out of this moving average deviation is specified.

[0032]In this linear velocity measuring method, not using sampling data of a sampled Doppler signal component as it is, a moving average deviation of these sampling data is calculated, and a moving average deviation with frequency which is equivalent to maximum velocity out of that moving average deviation is specified. Thereby, even if it is a case where a noise is contained in sampling data, an error of measurement by this noise can be suppressed minor.

[0033]In order to attain the 2nd purpose of the above, an invention of Claim 10 used an ultrasonic wave, an electric wave, or a coherent light as the above-mentioned wave in a linear velocity measuring method of an approximate circle movement body of Claims 1, 2, 3 and 4, 5, 6, 7 and 8, or 9.

[0034]In this linear velocity measuring method, since rate measurement is carried out using an ultrasonic wave, an electric wave, or a coherent light, it is not influenced by sunlight like a rate measurement device of the conventional photoelectric method.

[0035]In order to attain the 1st purpose of the above, an invention of Claim 11, A wave transmission means to turn to a measuring object a wave generated based on a reference signal of predetermined frequency, and to transmit waves, In a linear velocity measuring device of an approximate circle movement body provided with a wave-receiving means to receive a reflected wave from this measuring object, and a speed arithmetic means which calculates relative-displacement speed of this measuring object based on a Doppler signal component of this reflected wave, A sampling means which samples a Doppler signal component of a reflected wave from the above-mentioned measuring object, A data specifying means which specifies a specific sampling value with frequency which is equivalent to maximum velocity out of sampling data of two or more Doppler signal components sampled by this sampling means is established, The feature is carried out for calculating the above-mentioned relative-displacement speed by the above-mentioned speed arithmetic means based on this specific sampling value.

[0036]If this linear velocity measuring device is arranged on extension wire of that tangential direction to the point of measurement of a request on an orbit of a measuring object which moves by approximate circle movement, Direction of linear velocity of the above-mentioned measuring object in this point of measurement and the direction of rate measurement which is direction of relative-displacement speed of this measuring object to this linear velocity measuring device are in agreement. If it is made in agreement in this way, when this linear velocity measuring device will have been arranged to a direction of movement of a measuring object in the point of measurement, a value with the largest relative-displacement speed found from a reflected wave in the point of measurement will be shown. On the other hand, when the above-mentioned linear velocity measuring device has been arranged to a counter direction to a direction of movement of a measuring object in the point of measurement, a value with the smallest relative-displacement speed found from a reflected wave in the point of measurement will be shown. Therefore, if a sampling value with the maximum frequency or minimum frequencies which is equivalent to maximum velocity by the above-mentioned data specifying means is specified, by the above-mentioned speed arithmetic means, relative-displacement speed of a measuring object in the point of measurement can be calculated, and linear velocity of a measuring object can be measured.

[0037]In particular, an invention of Claim 12 samples only a Doppler signal component in which the above-mentioned sampling means has the frequency equivalent to speed range which the above-mentioned measuring object can take in a linear velocity measuring device of an approximate circle



movement body of Claim 11.

[0038]In this linear velocity measuring device, since speed range which a measuring object can take is predicted and only a thing in that speed range is sampled, influence by a noise can be lessened.

[0039]In a linear velocity measuring device of Claim 11 or an approximate circle movement body of 12 an invention of Claim 13, When the above-mentioned data specifying means specifies the above-mentioned specific sampling value out of the above-mentioned sampling data, a linear velocity measuring method of an approximate circle movement body of Claims 3, 4, 5 and 6, 7, or 8 is performed.

[0040]A data specifying means which specifies a specific sampling value in this linear velocity measuring device out of sampling data sampled by a sampling means, Since processing operation of a linear velocity measuring method of Claims 3, 4, 5 and 6, 7, or 8 is performed, a storage capacity of a memory measure which memorizes sampling data is stopped small, and quick processing in real time is attained.

[0041]In a linear velocity measuring device of an approximate circle movement body of Claim 11, 12, or 13 an invention of Claim 14, A moving average calculating means which computes a moving average deviation of the above-mentioned sampling data using a moving average cost method is established, A moving average deviation in which the above-mentioned data specifying means has the frequency which is equivalent to maximum velocity out of this moving average deviation is specified, and the feature is carried out for calculating the above-mentioned relative-displacement speed by the above-mentioned speed arithmetic means based on the moving average deviation.

[0042]In this linear velocity measuring device, not using sampling data of a sampled Doppler signal component as it is, a moving average deviation of these sampling data is calculated, and a moving average deviation with frequency which is equivalent to maximum velocity out of that moving average deviation is specified. Thereby, even if it is a case where a noise is contained in sampling data, an error of measurement by this noise can be suppressed minor.

[0043]  
[Embodiment of the Invention]One embodiment applied to the head speed measuring device (only henceforth a "measuring device") which measures hereafter, the linear velocity of a bat, i.e., the head speed of this bat, which are the approximate circle movement bodies which carry out approximate circle movement of this invention at the time of swing, is described. According to this embodiment, an ultrasonic wave is used as a wave used for this rate measurement, and this ultrasonic wave is transmitted towards the head section of the bat under swing which is a measuring object. And the head speed of this bat is measured using the Doppler effect of a reflected wave reflected from this bat.

[0044]First, the composition of the whole measurement system for measuring the head speed of a bat with the measuring device concerning this embodiment is explained. In this measurement system, the head speed in the position to which a bat becomes vertical to the direction of movement of the position, i.e., a ball, in which a ball carries out impact during swing of a bat is measured.

[0045]Drawing 1 is an outline lineblock diagram of the measurement system in this embodiment. In this measurement system, the above-mentioned measuring device 1 is arranged in the direction of a pitcher when the batter 3 stands on an at-bat and the bat 2 is swung. When the batter 3 swings the bat 2, in accordance with the orbit shown in the drawing 1 destructive line arrow A, the head section 2a draws an approximate circle orbit, and moves. In the following explanation, the direction which connects the above-mentioned measuring device 1 and the position of the head section 2a in the point of measurement is called direction of X.

[0046]Next, the composition of the above-mentioned measuring device 1 is explained. Drawing 2 is a block diagram showing the measuring device 1 concerning this embodiment. This measuring device 1 is provided with the following.

The ultrasonic-waves-transmission part 10 as a wave transmission means.

The ultrasonic wave-receiving part 20 as a wave-receiving means.

Signal processing part 30.

The indicator 40 as an informing means.

Hereafter, it explains to the composition and operation of each part.

[0047]First, the composition and operation of the above-mentioned ultrasonic-waves-transmission part 10 are explained. Based on the reference signal of the predetermined frequency  $F_0$ , this ultrasonic-waves-transmission part 10 turns an ultrasonic wave to the head section 2a of the bat 2 continuously, and transmits waves. This ultrasonic-waves-transmission part 10 is provided with the following.

The reference oscillator 11 for generating the reference signal of the predetermined frequency  $F_0$ .

The output amplifier 12 which amplifies this reference signal even to a predetermined level.

The ultrasonic wave transmitter 13 which changes into an ultrasonic wave the predetermined electrical

signal amplified with this output amplifier.

[0048]Next, the composition and operation of the above-mentioned ultrasonic wave-receiving part 20 are explained. The ultrasonic wave transmitted from the above-mentioned ultrasonic-waves-transmission part 10 is reflected by the above-mentioned bat 2, and this ultrasonic wave-receiving part 20 receives the ultrasonic wave containing that reflected wave that has returned, and extracts a Doppler signal component out of the input signal of the ultrasonic wave which received waves. The ultrasonic wave receiver 21 from which this ultrasonic wave-receiving part 20 changes an ultrasonic wave into an electrical signal, The preamplifier 22 which amplifies the weak input signal outputted from this ultrasonic wave receiver, The notch filter 25 from which the reflected wave which has not received the Doppler shift from [ out of the input signal outputted from this preamplifier ] the direct wave and static object from the above-mentioned ultrasonic-waves-transmission part 10 is removed, The filter group 26 which passes this Doppler signal ingredient selectively by the frequency band which the Doppler signal component which passed this notch filter can take, The signal detector group 27 which detects two or more Doppler signal components which passed this filter group, respectively, It comprises the signal selection section 28 which chooses the Doppler signal component by the head section 2a based on the detection result of this signal detector group, and the output change machine 29 which outputs one in two or more Doppler signal components outputted from this filter group based on the selected result of this signal selection section.

[0049]After the ultrasonic wave received by the above-mentioned ultrasonic wave receiver 21 is changed into an electrical signal, it is amplified by the above-mentioned aforementioned amplifier 22, and is inputted into the above-mentioned notch filter 25. With this notch filter 25, the signal component of the reference frequency  $F_0$  which is the same frequency as the reference signal of the ultrasonic wave transmitted from the above-mentioned ultrasonic-waves-transmission part 10 can be attenuated selectively, and the saturation of a latter circuit can be prevented.

[0050]As for this notch filter 25, the center frequency of that attenuation band is set as this reference frequency  $F_0$ . The powerful ultrasonic wave spread directly from the above-mentioned ultrasonic-waves-transmission part 10 can be attenuated by this, and the weak reflected wave from the above-mentioned bat 2 can be efficiently extracted out of the ultrasonic wave which received waves. What constituted the cut off frequency of the low pass filter and the highpass filter as the above-mentioned notch filter 25, for example combining in parallel what was made the same can be used. In this case, the characteristic with comparatively high Q can be obtained. The extinction ratio to the fundamental wave signal ingredient of this notch filter 25 is suitably set up so that predetermined signal processing can be performed in a latter circuit.

[0051]The above-mentioned filter group 26, The frequency band which the Doppler signal component by the reflected wave from the above-mentioned bat 2 can take is divided into five. It comprises five band pass filters (BPF1, BPF2, BPF3, BPF4, BPF5) which pass only five obtained frequency bands (HH, HL, M, LH, LL), respectively. The Doppler signal component which was outputted from the above-mentioned notch filter 25, and branched to five is inputted into each above-mentioned band pass filter (BPF1, BPF2, BPF3, BPF4, BPF5), respectively. And each zone signal  $S_e$  (SeHH-SeLL) which passed each band pass filter is outputted to the signal detector group 27 and the output selection machine 29. The number of the band pass filter provided in the above-mentioned filter group 26 is not limited to five pieces, and is suitably determined according to the reading-per-second range or the accuracy of measurement demanded.

[0052]Each band pass filter (BPF1, BPF2, BPF3, BPF4, BPF5) used for the above-mentioned filter group 26, For example, when the frequency  $F_0$  of the above-mentioned reference signal is 32.768 kHz and the reading-per-second range is 50-180 km/h. The frequency band which a Doppler signal component can take, Since it is set to 35.5k-43.9kHz, the center frequency of each band pass filter (BPF1, BPF2, BPF3, BPF4, BPF5) of the above-mentioned filter group 26, respectively 36.3 kHz, It is set as 38.0 kHz, 39.7 kHz, 41.4 kHz, and 43.1 kHz, and pass band width is set as 1.7 kHz.

[0053]Each zone signal  $S_e$  which passed the above-mentioned filter group 26 is inputted into the above-mentioned signal detector group 27. This signal detector group 27 comprises five signal detectors corresponding to the number of the band pass filter provided in the above-mentioned filter group 26. These signal detectors output the detecting signal  $S_f$  to the above-mentioned signal selection section 28, when the direction of zone signal  $S_e$  outputted from the above-mentioned band pass filter rather than the threshold beforehand set up in each signal detector has a big signal level.

[0054]Each zone signal  $S_e$  which passed the above-mentioned filter group 26 is inputted also into the

above-mentioned output change machine 29. This output change machine 29 outputs the one signal Sh in inputted zone signal Se to the above-mentioned signal processing part 30 under control of the above-mentioned signal selection section 28.

[0055]The above-mentioned signal selection section 28 makes the above-mentioned signal processing part 30 output the zone signal Sh corresponding to the detecting signal Sf which chose the detecting signal with the highest frequency out of the detecting signal Sf outputted from the above-mentioned signal detector group 27, and controlled and chose the above-mentioned output change machine 29. That is, this signal selection section 28 chooses what has the highest frequency out of the Doppler signal component of the ultrasonic wave which received waves by the above-mentioned ultrasonic wave receiver 21.

[0056]Thus, the highest frequency is chosen out of a Doppler signal component because the Doppler signal component of the ultrasonic wave received by the above-mentioned ultrasonic wave receiver 21 is not necessarily a thing from the head section 2a of the bat 2. If the object made to generate the reflected wave which received the Doppler shift is only the above-mentioned head section 2a when it explains concretely, it is possible that the number of the Doppler signal components of the ultrasonic wave which received waves by the above-mentioned ultrasonic wave receiver 21 is one. However, since the ultrasonic wave transmitted from the above-mentioned ultrasonic-waves-transmission part 10 advances spreading by diffraction, it cannot be almost hit only against the head section 2a which is a measuring object. For this reason, the reflected wave from a batter's arm, the body, etc. which swings the body part and grip part of a bat, and this bat will also be received by the above-mentioned ultrasonic wave receiver 21, for example in addition to the reflected wave from the head section 2a. The reflected wave received by the above-mentioned ultrasonic wave receiver 21 has received the Doppler shift which changes with each reflective subjects, respectively. Therefore, several reflected waves from which frequency differs will be received by the above-mentioned ultrasonic wave receiver 21, and the input signal becomes what several Doppler signal components from which frequency differs superimposed. For this reason, there is a possibility that head speed of the bat 2 cannot be measured correctly.

[0057]However, since the head section 2a which is a measuring object carries out approximate circle movement a center [ the batter's 3 body ], it is thought in the reflective subject which exists in the time base range in this embodiment that speed is the quickest. Therefore, the Doppler signal component by this head section 2a will have the highest frequency in the received Doppler signal component. Therefore, if what has the highest frequency out of this Doppler signal component is chosen, the Doppler signal component based on the reflected wave from the above-mentioned head section 2a can be obtained. So, what has the highest frequency is chosen out of a Doppler signal component using the above-mentioned filter group 26, the above-mentioned signal detector group 27, and the above-mentioned signal selection section 28, and it constitutes from this embodiment so that the Doppler signal component may be used for velocity operation.

[0058]Next, composition and operation of the above-mentioned signal processing part 30 are explained. The frequency measuring instrument 31 with which this signal processing part 30 measures the frequency Fi of the zone signal Sh continuously outputted from the output change machine 29 of the above-mentioned ultrasonic wave-receiving part 20. The data specific part 32 as a data specifying means which specifies the frequency data of the point of measurement on the orbit of the head section 2a out of the frequency data measured with this frequency measuring instrument. It comprises the speed operation part 33 as a speed arithmetic means which calculates speed based on the frequency data specified by this data specific part, and the meter 34 which measures atmospheric temperature in order to amend the sonic change by atmospheric temperature.

[0059]With the above-mentioned frequency measuring instrument 31, the zone signal Sh outputted from the above-mentioned output change machine 29 is sampled at intervals of isochronous, and is outputted to the above-mentioned data specific part 32. The frequency Fi measured here receives the Doppler shift in the direction of X shown in drawing 1.

[0060]Hereafter, the data processing operation of the data specific part 32 which is a characterizing portion of this invention is explained. Drawing 3 is a flow chart which shows the data processing operation of the above-mentioned data specific part 32. According to this embodiment, 15 continuous frequency data in the frequency data of the Doppler signal component of the head section 2a under swing is sampled, and the frequency data of the point of measurement which is a specific sampling value is specified based on aging of these sampling data. Here, although the case where a sampling number is 15 pieces is explained, this sampling number is suitably set up according to a sampling period, the

accuracy of measurement, etc. The data number counter which counts the number of the sampled frequency data and which is not illustrated is formed in the above-mentioned data specific part 32, and the initial state of this data number counter is set as "1."

[0061]In the above-mentioned data specific part 32, the 1st frequency data measured by the above-mentioned frequency measuring instrument 31 is incorporated first (S1), and it is judged whether it is a thing corresponding to the speed in specified rate within the limits to which this frequency data was set beforehand (S2). The specified rate range in this embodiment is set as the frequency range where speed will be 50–180 km/h by data processing of the speed operation part 33 mentioned later. It is thought that this frequency data is what is depended on the reflected wave from the batter's 3 body, etc. when this is a thing corresponding to the speed in which the incorporated frequency data is smaller than 50 km/h, in head speed measurement of a bat, since the necessity for a larger speed than 180 km/h is low, such a speed range has also been excepted.

[0062]When it is judged that frequency data is a thing of specified rate within the limits in the above S2, this frequency data is stored in the memory 35 as the 1st frequency data (S3). On the other hand, when the above-mentioned frequency data is judged not to be a thing of specified rate within the limits, incorporation is again started for the new frequency data from the above-mentioned frequency measuring instrument 31 as the 1st frequency data (S1).

[0063]If the 1st frequency data is stored in a memory in the above S3, the new frequency data from the above-mentioned frequency measuring instrument 31 will be incorporated as the 2nd frequency data, and it will be judged whether this frequency data is a thing of above-mentioned specified rate within the limits like (S4) and the above S2 (S5). At this time, when the 2nd incorporated frequency data is judged not to be a thing of specified rate within the limits, the above-mentioned data number counter is reset (S6). And this 2nd frequency data is stored in the above-mentioned memory 35 as the 1st frequency data (S3), and incorporation is again started for the new frequency data from the above-mentioned frequency measuring instrument 31 as the 2nd frequency data (S4).

[0064]When it is judged that the 2nd frequency data is the things of specified rate within the limits in the above S5, The absolute value of the difference of this 2nd frequency data and the 1st frequency data incorporated before one is computed (S7), and it is judged whether it is a thing corresponding to the speed in the regulation fluctuation range where this absolute value was set up beforehand (S8). The regulation fluctuation range in this embodiment is set as the frequency range where speed will be 5 km/h or less by data processing of the speed operation part 33 mentioned later. This frequency range is a range made the optimal based on the data measuring of a lot of bat swings or golf swings. It is because it is thought that that to which the frequency data taking-in interval of the account data specific part 32 of Mogami is 360microsec, and this has not less than 5-km/h velocity turbulence in within a time [ this ] is a noise. It is also for eliminating the data of the portion, since big variation arises in a change of frequency data with the passage of time with other reflective subjects until the head section 2a arrives at the point of measurement, and sampling only the frequency data corresponding to the direction speed of X of this head section. This Reason is mentioned later.

[0065]When it is judged that there is no above-mentioned absolute value into a regulation fluctuation range in the above S8, After shifting to the above S6 and resetting the above-mentioned data number counter (S6), The 2nd above-mentioned frequency data is stored in the above-mentioned memory 35 as the 1st frequency data (S3), and incorporation is again started for the new frequency data from the above-mentioned frequency measuring instrument 31 as the 2nd frequency data (S4).

[0066]On the other hand, when it is judged that the above-mentioned absolute value is in a regulation fluctuation range in the above S8, the above-mentioned data number counter is made to increase one time (S9). And it is judged whether this data number counter reached default value (S10). According to this embodiment, since the sampling number of frequency data is 15 pieces, this default value is set as 15. Here, since only the 2nd frequency data is still incorporated, it is judged that the data number counter has not reached default value yet in the above S10. In this case, it returns to the above S3 again, this 2nd frequency data is stored in the above-mentioned memory 35 (S3), and incorporation is started for the new frequency data from the above-mentioned frequency measuring instrument 31 as the 3rd frequency data (S4). Henceforth, the process to the above S10 is repeated until it is judged that the above-mentioned data number counter reached default value.

[0067]Thus, when it is judged that 15 continuous frequency data was sampled and the data number counter reached default value in the above S10, It judges by to which of the judging standard set up beforehand that shows drawing 4 the outside of inclination of these frequency data in which aging of the 1–15th above-mentioned frequency data is shown corresponds inclining (S11).

[0068] Here, before explaining the judging standard shown in drawing 4, the movement state of the bat 2 under swing is explained. Drawing 5 is a schematic diagram showing aging of the bat position at the time of swing. This figure obtains the bat 2 swung by the batter 3 by photoing it at intervals of  $1/60$  seconds from the perpendicular direction upper part. A white round head shows the grip part of the bat 2 among a figure, and a black dot shows the head section of this bat. The point of measurement O is a point that the head section 2a at the time of the impact of a ball is located, and the above-mentioned measuring device 1 is arranged on the X-axis.

[0069] As shown in drawing 5, the orbit of the above-mentioned head section 2a draws an approximate circle orbit focusing on the batter's 3 body at the beginning of a swing start, and if the position of the grip part of the bat 2 comes on a batter's transverse plane, i.e., the Y-axis in a figure, shortly, this grip part will be fixed and it will draw an approximate circle orbit focusing on this. And the above-mentioned head section 2a passes through a Y-axis top, and this head section performs approximate circle movement focusing on the batter's 3 body again after a while.

[0070] X direction component  $V_x$  of head speed until the above-mentioned head section 2a passes through the above-mentioned point of measurement O serves as a tangential direction of this orbit, and a cosine of this head speed V in the angle theta which the direction of X makes, as shown in drawing 5. This X direction component  $V_x$  serves as the maximum, when the point of measurement O is arrived at, and it becomes the head speed V itself.

[0071] Drawing 6 is a graph which shows the relation of the speed (henceforth "the direction speed of X") and time which are measured in the direction of X in the time base range at the time of the bat swing shown in drawing 5. While the outside of this graph is for a while from the time of a swing start, velocity turbulence has variation, it falls once on the way, and in the back, sinusoidal type is shown mostly and it decreases. Even if the feature of this outside performed measurement what times, it was almost the same.

[0072] When it guesses from the graph shown in drawing 6, in a time base range in the time of a swing start. Since two or more other reflective subjects, such as the batter's 3 body and an arm, especially such [ the direction speed of X in the grip part of the bat 2 / thing / of the head section 2a / quick moreover ] other reflective subjects exist, it is thought that variation will appear in velocity turbulence. Although the portion into which speed falls rapidly after a while exists, it is thought that this portion is a thing as drawing 5 also showed, when a motion of a grip part stops once. When the batter 3 swings the bat 2, since the grip part of this bat moves to a transverse plane from the side of the body at high speed, specifically, it is usually thought in the swing operation so far that the direction speed of X of this grip part is the quickest. Therefore, when this grip part came to the transverse plane of the body and stopped the motion, it is thought that the direction speed of X in a time base range fell temporarily.

[0073] After falling in this way, speed rises quickly, and after reaching the fastest point, sinusoidal type is shown mostly and it decreases. After a grip part stops as mentioned above, as shown in drawing 5, the bat 2 begins to rotate focusing on this grip part, and the direction speed of X of the head section 2a increases it shortly. After a while, X direction component  $V_x$  of this head section 2a becomes quicker than the direction speed of X of other reflective subjects in a time base range. Therefore, after falling as mentioned above, only the above-mentioned X direction component  $V_x$  will be measured, and it is thought that sinusoidal type with little variation will be obtained in the graph shown in drawing 6.

[0074] As mentioned above, as a result of considering the movement state of the bat under swing, the fastest point acquired after falling in the graph in drawing 6 is considered to be X direction component  $V_x$  of head speed V in the point of measurement O in drawing 5. This installs a photoelectric sensor in the point of measurement O, and when it measures in parallel to the rate measurement shown in drawing 6, and the reaction and the fastest point of this photoelectric sensor were the same timing mostly, it is checked. Then, by judging to which of judging standard A-F that shows drawing 4 the outside which the inclination to the time of 15 frequency data in which the direction speed of X in a time base range is shown expresses with the above S11 corresponds, It is judged whether the frequency data in the point of measurement O is contained in the sampled frequency data.

[0075] In drawing 4, the outside of the inclination shown in the judging standard A shows the case where X direction component  $V_x$  of the head section 2a has a predetermined upward tendency from the time of the 1st Measurement Division of frequency data. That is, when it corresponds to this judging standard A, it can be said that the sampled frequency data is a thing since the batter 3 begins to swing the bat 2, when that head section 2a has not arrived at the point of measurement O. In this case, in these

frequency data, the frequency data in the point of measurement O is not contained. Therefore, when judged with corresponding to the judging standard A of the above-mentioned S11 smell lever. After shifting to the above S6 and resetting the above-mentioned data number counter (S6), The 15th frequency data incorporated at the end is stored in the above-mentioned memory 35 as the 1st frequency data (S3), and incorporation is again started for the new frequency data from the above-mentioned frequency measuring instrument 31 as the 2nd frequency data (S4).

[0076]The outside of the inclination shown in the judging standard B shows the case where it becomes to such an extent that it could be regarded as about 1 law, after the above-mentioned X direction component  $V_x$  has a predetermined upward tendency from the time of the 1st Measurement Division of frequency data. That is, when it corresponds to this judging standard B, it can be said that the sampled frequency data is a thing when the head section 2a arrives at this point of measurement mostly from before the point of measurement O. Therefore, these frequency data is shifted to the following data processing step noting that the frequency data in the point of measurement O is contained in the sampled frequency data, when judged with corresponding to the judging standard B of the above-mentioned S11 smell lever.

[0077]The outside of the inclination shown in the judging standard C shows the case where the above-mentioned X direction component  $V_x$  has an eternal tendency from the 1st frequency data's

Measurement Division time. In the case of the frequency data taking-in interval set up by this embodiment, and its sampling number, it is hard to consider that there is almost no speed change like the above-mentioned judging standard C, and a possibility of this frequency data of being an ultrasonic noise rather is higher. Therefore, when judged with corresponding to the judging standard C of the above-mentioned S11 smell lever. After shifting to the above S6 and resetting the above-mentioned data number counter (S6), The 15th frequency data incorporated at the end is stored in the above-mentioned memory 35 as the 1st frequency data (S3), and incorporation is again started for the new frequency data from the above-mentioned frequency measuring instrument 31 as the 2nd frequency data (S4).

[0078]The outside of the inclination shown in the judging standard D shows the case where it decreases with the inclination below another default value set up beforehand, after the above-mentioned X direction component  $V_x$  increases from the time of the 1st Measurement Division of frequency data with the inclination beyond the default value set up beforehand. That is, the case where it has a peak in the center portion of the sampled frequency data is shown. When it corresponds to this judging standard D, it can be said that the sampled frequency data is a thing when the head section 2a arrives at the point of measurement O exactly. Therefore, these frequency data is shifted to the following data processing step noting that the frequency data in the point of measurement O is contained in the sampled frequency data, when judged with corresponding to the judging standard D of the above-mentioned S11 smell lever.

[0079]While the above-mentioned X direction component  $V_x$  is for a while, it hardly changes from the time of the 1st Measurement Division of frequency data, but the outside of the inclination shown in the judging standard E shows the case where it has an after that predetermined downward tendency. That is, when it corresponds to this judging standard E, it can be said that the sampled frequency data is a thing when the head section 2a arrives at the point of measurement O and passes. Therefore, these frequency data is shifted to the following data processing step noting that the frequency data in the point of measurement O is contained in the sampled frequency data, when judged with corresponding to the judging standard E of the above-mentioned S11 smell lever.

[0080]The outside of the inclination shown in the judging standard F shows the case where the above-mentioned X direction component  $V_x$  has a predetermined downward tendency from the time of the 1st Measurement Division of frequency data. That is, when it corresponds to this judging standard E, it can be said that the sampled frequency data is the thing after the head section 2a passes through the point of measurement O. In this case, in these frequency data, the frequency data in the point of measurement O may not be contained. However, when a data number counter is reset in the above S5 or S8 repeatedly, while having repeated down stream processing to S1-S10, the frequency data in the point of measurement O may be taken unenthusiastically.

[0081]As it is considered that this frequency data is sampled just behind the point of measurement O to have corresponded to this judging standard F without corresponding to old decision-criterion A-E and near [ this ] point-of-measurement O shows it to drawing 6, there is dramatically little velocity

turbulence of X direction component  $V_x$ . Therefore, it can be presumed that the frequency data of the point of measurement O is contained in these frequency data. So, when judged with corresponding to the judging standard E of the above-mentioned S11 smell lever, it presumes that the frequency data in the point of measurement O is contained in the sampled frequency data, and these frequency data is shifted to the following data processing step.

[0082]When judging to which of judging standard A-F mentioned above in the above S11 it corresponds, in this embodiment, comparison with each judging standards A-F is performed using the sampled 1st piece, the 8th piece, and the 15th frequency data. It is judged to which of judging standard A-F which the frequency data sampled in these S11 mentioned above it corresponds, Also besides comparing using three frequency data mentioned above, the 14th frequency data may be used with the 2nd piece and the 8th piece, and it may compare, or may compare using 1, 2 and the average value of the 3rd piece, 7, 8 and the average value of the 9th piece, and 13, 14 and the average value of the 15th piece, for example. It may judge using four suitably selected, five frequency data, or all the frequency data, for example in addition to the method of judging to which of each judging standard it corresponding using three frequency data in this way.

[0083]When judging whether it is fixed in whether inclination of the sampled frequency data is increasing in these S11, or it is decreasing, it becomes ambiguous to which decision criterion of the judging standards A-F it corresponds depending on the case, but. It is necessary to set up appropriately default value and a prescribed range it becomes clear the distinguishing. This default value and prescribed range are suitably set up according to the speed and other movement characteristics of a measuring object. According to this embodiment, it is judged as follows to which judging standard it corresponds. At this time, the data applicable to no judging standard performs the same processing as the above-mentioned judging standards A and C as NG.

[0084]1) the judging standard A — the time of the difference of the speed at which the 15th frequency data is larger and it is equivalent to these data rather than the 8th [ at least ] frequency data being not less than 2 km/h. According to this embodiment, the relation between the 1st piece and the 8th piece is disregarded.

2) The 8th frequency data is larger than judging standard B1 piece frequency data, When the difference of the speed which the difference of the speed equivalent to these data is 10 or less km/h, and the 15th frequency data is larger and is equivalent to these data rather than the 8th frequency data is 2 or less km/h.

3) When the speed difference equivalent to the difference of the judging standard C1 piece 8th frequency data is 1 or less km/h and the speed difference which is equivalent to the difference of the 15th frequency data with the 8th piece is 1 or less km/h.

4) The 8th frequency data is larger than judging standard D1 piece frequency data, When the difference of the speed which the difference of the speed equivalent to these data is 10 or less km/h more than per km/h, and the 15th frequency data is smaller and is equivalent to these data rather than the 8th frequency data is 10 or less km/h more than per km/h.

5) The 8th frequency data is smaller than the judging standard E and F1 piece frequency data, When the difference of the speed which the difference of the speed equivalent to these data is 10 or less km/h, and the 15th frequency data is smaller and is equivalent to these data rather than the 8th frequency data is 10 or less km/h.

[0085]It is not limited for the above-mentioned judging standard to this, and what is necessary is just to set up suitably according to the reading-per-second range or a measuring object.

[0086]Thus, the frequency data applicable to either the judging standard B, D, and E shown in drawing 4 or F calculates the moving average deviation next (S12). Specifically 1, 2, and the 3rd frequency data are added, it divides by 3, then 2, 3, and the 4th frequency data are added, calculation of dividing by 3 is performed one by one, and the calculation result is stored in the above-mentioned memory 35. Since the noise may be contained in the frequency data even if it is a case where the incorporated frequency data is judged to be in a regulation fluctuation range in the above S8, Thus, if a moving average deviation is computed, when detecting the maximum by the following S13, the error of the maximum by a noise can be reduced. Here, when computing a moving average deviation, three data was used, but a moving average deviation may be computed from four or five data.

[0087]Next, the maximum in these moving average deviations is detected (S13). Since the frequency data in which the maximum in the sampled frequency data is shown is a thing of the head section 2a in the point of measurement O as mentioned above, By detecting the maximum in the moving average

deviation calculated by the above S12, the frequency data of the head section 2a in the point of measurement O can be specified.

[0088]As mentioned above, in the above-mentioned data specific part 32, if the frequency data of the head section 2a in the point of measurement O is specified, the specified frequency data will be outputted to the above-mentioned speed operation part 33. In this speed operation part 33, X direction component  $V_x$  in the point of measurement O is calculated based on the computing equation shown in several 1 from frequency  $F_{iMAX}$  specified by the above-mentioned data specific part 32, and the reference frequency  $F_0$  outputted from the reference oscillator 11 of the above-mentioned ultrasonic-waves-transmission part 10. Since X direction component  $V_x$  in the point of measurement O is the head speed V itself at this time, several 1 to this direct head speed V is computable. Here, the sign C in the computing equation shown in several 1 shows acoustic velocity.

[0089]

[Equation 1]  $F_{iMAX} - F_0 = 2$  and  $V = F_0 / (C - V)$

[0090]Since the acoustic velocity C used with the computing equation shown in one above is changed according to atmospheric temperature, in order to perform exact rate measurement, it is necessary to amend the sonic change by this atmospheric temperature. So, in this embodiment, exact acoustic velocity is computed from the computing equation shown in several 2 based on the atmospheric temperature measured by the above-mentioned meter 34, and the acoustic velocity C used with a computing equation with one above is amended. The sign t in the computing equation shown in several 2 shows the atmospheric temperature measured by the above-mentioned meter 34.

[0091]

[Equation 2]  $C = 331.5 + 0.6 \text{ and } t \text{ [m/sec]}$

[0092]Thus, calculated head speed V is sent to the above-mentioned display for indication 40, and is displayed on a user as text. Although this embodiment explained the composition using the displaying means which displays head speed V on the display for indication 40, and outputs it as an informing means which reports measured head speed V, the voice output means which outputs with a sound head speed V measured also besides the ability to come may be used.

[0093]As mentioned above, according to this embodiment, it can measure correctly, the linear velocity of the head section 2a of the bat 2, i.e., the head speed of this bat, which are approximate circle movement bodies. Since the measuring device 1 concerning this embodiment limits a sampling number to 15 pieces and performs data processing in real time, immediately after it carries out bat swing, it can display the head speed. By limiting a sampling number in this way, after sampling all data, compared with the case where data processing is performed, memory space of the above-mentioned memory 35 can be made small, and can attain low-cost-izing of a device, and small-scale-ization.

[0094][Modification 1] Next, the modification (this modification is hereafter called "modification 1".) of the data processing step of the data specific part 32 in this embodiment is explained. In the frequency data incorporated into the above-mentioned data specific part 32 in the above S1 or S4, noise components other than what is depended on the Doppler signal component from the above-mentioned head section 2a are contained. In the data processing step explained by the above-mentioned embodiment, it shifts to the above S6 and a data number counter is reset when the frequency data based on such a noise component is incorporated noting that there is nothing to specified rate within the limits in the above S5, or noting that there is nothing into a regulation fluctuation range in the above S8. Therefore, when the sampling number is set as 15 pieces like the above-mentioned embodiment and the frequency data incorporated into the 11th piece, for example is judged to be a noise component, ten frequency data sampled so far will become useless. If a data number counter is reset in the time zone of the hit which corresponds to the judging standards E and F especially, the frequency data of the head section 2a in the point of measurement O will be taken unenthusiastically, and the accuracy of measurement will get worse.

[0095]So, in this modification, although more than a predetermined number incorporates a noise component after incorporating five or more frequency data, for example, it has composition which continues data processing without resetting a data number counter. When it is specifically judged that it is a noise component after incorporating frequency data up to the 5th piece (for example, the 6th frequency data), Without performing data processing of the above S6 and S3, it returns to the above-mentioned S4 as it is, and the new frequency data from the above-mentioned frequency measuring instrument 31 is again incorporated as the 6th frequency data.



[0096] Since an absolute value of a difference with frequency data of two pieces ago is computed in the above S7, frequency data again incorporated as the 6th frequency data is corrected so that a regulation fluctuation range in the above S8 may be temporarily extended to about 2 times. Since it will lead to aggravation of the accuracy of measurement if not much many noise components are incorporated, For example, it is good to constitute so that a data number counter may be reset and a data processing step may be started from the beginning, when a noise counter and a noise flag which count the number of times of taking in of this noise component are formed and the number of these noise components becomes more than a predetermined number.

[0097][Modification 2] Next, other modifications (this modification is hereafter called "modification 2".) of a data processing step of the data specific part 32 in this embodiment are explained. This modification cancels fault generated by incorporating a noise component in the middle of a data processing step, and redoing data processing like the above-mentioned modification 1. Constituted from the above-mentioned modification 1 so that it might ignore without storing a noise component in the above-mentioned memory 35, the following new frequency data might be incorporated and data processing might be continued, but. In this modification, average value of two frequency data incorporated before and behind a noise component is calculated, and this average value is stored in a place where this noise component should be stored. Thus, by complementing a portion from which a noise component was incorporated, frequency data which continues at intervals of isochronous mostly can be sampled, and data which met reality more compared with the above-mentioned modification 1 can be complemented.

[0098][Modification 3] Next, a modification of further others of a data processing step of the data specific part 32 in this embodiment (this modification is hereafter called "modification 3".) is explained. Since an embodiment and the modifications 1 and 2 which were mentioned above are the composition of performing data processing in real time, they perform data processing from S3 to S11 to each frequency data incorporated during bat swing. A mass memory is used as a memory measure which stores frequency data, and it constitutes from this modification so that all the frequency data may once be incorporated and it may store in this memory. In this case, after incorporating all frequency data, a data processing step mentioned above by the above-mentioned data specific part 32 using frequency data stored in this memory is started.

[0099][Modification 4] Next, a modification (this modification is hereafter called "modification 4".) of the signal selection section 28 in this embodiment is explained. In an embodiment and the modifications 1, 2, and 3 which were mentioned above, When two or more detecting signals Sf are simultaneously outputted from the above-mentioned signal detector group 27, it comprises the above-mentioned signal selection section 28 so that a thing corresponding to the head section 2a may be extracted out of a Doppler signal component which received waves, as a detecting signal with the highest frequency is chosen. However, when only one zone signal Se with a signal level exceeding a threshold which can detect a signal detector of the above-mentioned signal detector group 27 does not exist, only one detecting signal is outputted from this signal detector group. In this case, the above-mentioned signal selection section 28 will extract the zone signal Sf corresponding to this detecting signal as a thing corresponding to the head section 2a. For this reason, Doppler signal components other than head section 2a may be extracted.

[0100] Thus, when Doppler signal components other than head section 2a are extracted, as shown in drawing 6, a change with the passage of time is large [ the direction speed of X by the frequency data ]. For this reason, it is judged that a regulation fluctuation range is exceeded by S8 in a data processing step of the above-mentioned data specific part 32, and a measurement result is hardly affected. However, very rarely, frequency data based on the batter's 3 body is settled in a regulation fluctuation range in the above S8, and it may judge that it meets a judging standard in the above S11. In such a case, in a measuring device of an embodiment and the modifications 1, 2, and 3 which were mentioned above, before sampling frequency data in the point of measurement O, movement speed of this batter's body will be calculated as head speed, and rate measurement will be ended.

[0101] Then, in this modification, only the detecting signal Sf from the highest signal detector [ in / for the above-mentioned signal selection section 28 / the above-mentioned signal detector group 27 ] for the frequency bands HH is received, Only when this detecting signal is received, the above-mentioned output change machine 29 is controlled, and it constitutes so that the above-mentioned signal processing part 30 may be made to output the zone signal Sh corresponding to this detecting signal. Since the frequency band of a Doppler signal component from the batter's 3 body etc. which were mentioned above is low compared with the head section 2a, such most Doppler signal components are

detected by signal detector for frequency bands other than the above-mentioned frequency band HH. Therefore, in this modification, in the above-mentioned signal selection section 28, Doppler signal components other than such head section 2a can be removed from rate measurement, and it becomes possible to prevent incorrect measurement.

[0102]Composition of those other than the above-mentioned data specific part 32 of a measuring device of an embodiment and the modifications 1, 2, and 3 which were mentioned above is almost the same as that of the conventional rate measurement device which measures a ball etc. which carry out an abbreviated straight-line motion in the above-mentioned X direction. Computing units, such as CPU which performs operation of the above-mentioned signal selection section part 28 and the speed operation part 33 which were provided in the conventional rate measurement device, can perform data processing operation of this data specific part 32. That is, if an algorithm which operates this computing unit realizes the above-mentioned data processing step, structure of the existing rate measurement device will be used as it is, and it will become possible only by changing that algorithm to measure linear velocity of an approximate circle movement body.

[0103]It also becomes possible to provide a measuring device this has a measuring device and a function which measures speed of a pitched ball of a ball, and a function which measures head speed of a bat, for example. In this case, a means for switching which switches measuring mode to this measuring device is established. For the above-mentioned computing unit to perform a data processing step of the above-mentioned data specific part 32, when measuring head speed, and when measuring speed of a pitched ball of a ball, what is necessary is just made to perform a data processing step in which this computing unit measures speed of a pitched ball of the conventional ball.

[0104]Although composition which carries out velocity operation using frequency of a Doppler signal component which received a Doppler shift in an ultrasonic wave which received waves in an embodiment and the modifications 1, 2, 3, and 4 which were mentioned above was explained, If velocity operation of a measuring object can be performed using the Doppler effect of a reflected wave which received a Doppler shift, this invention, For example, it is good after the above-mentioned notch filter 25 also as composition which added a mixer as a mixer which mixes a Doppler signal component of the frequency  $F_i$  and a reference signal of the reference frequency  $F_o$  which were outputted from this notch filter. In this case, since not a Doppler signal component but a differential signal ingredient with the difference frequency  $F_d$  ( $F_d = F_i - F_o$ ) obtained by the above-mentioned mixer will be inputted into the above-mentioned filter group 26, corresponding to this, each part will be set up suitably. At this time, it constitutes from the above-mentioned speed operation part 33 so that velocity operation may be carried out based on a computing equation produced by substituting  $F_d = F_i - F_o$  for a computing equation shown in several 1.

[0105]It changes into the filter group 26 in an embodiment and the modifications 1, 2, 3, and 4 which were mentioned above, the signal detector group 27, the signal selection section 28, the output change machine 29, the frequency measuring instrument 31, the data specific part 32, and the speed operation part 33, it may constitute from an A/D converter which changes an analog signal into a digital signal, and a digital-signal-processing means to have a function of these each part. DSP, a highly efficient microcomputer, etc. may be used as this digital-signal-processing means. A function given to the above-mentioned digital-signal-processing means, What is necessary is just to choose the range suitably according to throughput of this digital-signal-processing means instead of what is limited to a function of the filter group 26 mentioned above, the signal detector group 27, the signal selection section 28, the output change machine 29, the frequency measuring instrument 31, the data specific part 32, and the speed operation part 33.

[0106]Although composition which used an ultrasonic wave as a wave used for measurement of head speed in an embodiment and the modifications 1, 2, 3, and 4 which were mentioned above was explained, If this invention can be reflected in a measuring object and velocity operation can be carried out using the Doppler effect at that time, it is also possible to use an electric wave and a coherent light, for example.

[0107]voice applied to a measuring device which measures head speed of a bat in an embodiment and the modifications 1, 2, 3, and 4 which were mentioned above -- it needs, although it \*\*\*\*\*ed just, For example, this invention can also measure head speed of a golf club, and revolving speed at the time of a throw of the discus throw or the hammer throw, if it exercises at an approximate circle movement body which draws an approximate circle orbit and exercises, especially a speed different each time.

[0108]

[Effect of the Invention]According to the invention of Claims 1-10, in order to perform linear velocity

measurement using a wave, there is an outstanding effect that the linear velocity measuring method of the approximate circle movement body which can be measured from the position which is separated from the approximate circle movement body which is a measuring object from before can be provided. Since the Doppler signal component by the approximate circle movement body in the point of measurement can be specified out of the Doppler signal component which received waves, there is an outstanding effect that the linear velocity in the point of measurement can be measured in high accuracy.

[0109]In particular, according to the invention of Claim 2, since influence by the wave and other noises which transmitted waves towards the measuring object can be lessened, there is an outstanding effect that linear velocity measurement can be performed in higher accuracy.

[0110]According to the invention of Claims 3-8, a sampling number becomes possible [ specifying the specific sampling value in the point of measurement at least ], the storage capacity of the memory measure which memorizes sampling data is stopped small, and there is an outstanding effect that miniaturization of a device and small-scale-ization can be attained.

[0111]According to the invention of Claim 4, the sampling data based on a noise etc. are removed and there is an outstanding effect that the factor of erroneous measurement can be reduced.

[0112]According to Claim 5 and the invention of 6 and 8, the frequency where linear velocity measurement is set to NG can be made low, and there is an outstanding effect that the stability of linear velocity measurement can be improved.

[0113]According to the invention of Claim 9, since the error of measurement by this noise can be suppressed minor even if it is a case where the noise is contained in sampling data, there is an outstanding effect that linear velocity measurement can be performed in higher accuracy.

[0114]According to the invention of Claim 10, since rate measurement can be performed without receiving influence in sunlight, there is an outstanding effect that the linear velocity measuring method of the approximate circle movement body in which measurement on the outdoors is possible can be provided.

[0115]According to the invention of Claims 11-14, in order to perform linear velocity measurement using a wave, there is an outstanding effect that the linear velocity measuring device of the approximate circle movement body which can be measured from the position which is separated from the approximate circle movement body which is a measuring object from before can be provided. Since the Doppler signal component by the approximate circle movement body in the point of measurement can be specified out of the Doppler signal component which received waves, there is an outstanding effect that the linear velocity in the point of measurement can be measured in high accuracy.

[0116]In particular, according to the invention of Claim 12, since influence by the wave and other noises which transmitted waves towards the measuring object can be lessened, there is an outstanding effect that linear velocity measurement can be performed in higher accuracy.

[0117]According to the invention of Claim 13, there is an outstanding effect that linear velocity measurement can be performed with the effect of the linear velocity measuring method of Claims 3, 4, 5 and 6, 7, or 8 mentioned above.

[0118]According to the invention of Claim 14, since the error of measurement by this noise can be suppressed minor even if it is a case where the noise is contained in sampling data, there is an outstanding effect that linear velocity measurement can be performed in higher accuracy.

[Translation done.]

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	デマコード* (参考)
G 0 1 S 15/58		C 0 1 S 15/58	5 J 0 8 3
G 0 1 P 3/36		C 0 1 P 3/36	E

審査請求 未請求 請求項の数14 ○ L (全 16 頁)

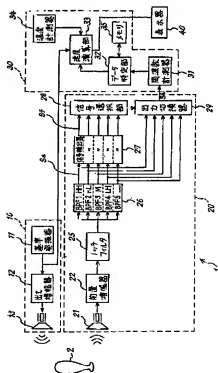
(21) 出願番号	特願平11-250036	(71) 出願人	583128172 リコーマイクロエレクトロニクス株式会社 鳥取県鳥取市北村10番地3
(22) 出願日	平成11年9月3日 (1999.9.3)	(72) 発明者	池内 史夫 鳥取県鳥取市北村10番地3 リコーマイクロエレクトロニクス株式会社内
		(74) 代理人	100098626 弁理士 黒田 壽 Fターム(参考) 5J083 AA02 AC18 AD08 AE10 DA01

## (54) 【発明の名称】 略円運動体の線速度測定方法及びその装置

## (57) 【要約】

【課題】 従来より測定対象物である略円運動体から離れた位置から該略円運動体の線速度を高い精度で測定することができる略円運動体の線速度測定方法及びその装置を提供することである。

【解決手段】 測定装置1をバット2のヘッド部分2aの軌道上における測定点の接線方向に配置する。そして、超音波送波部10から基準周波数F<sub>0</sub>の超音波を上記バットに向けて送波し、その反射波を超音波受波部20の超音波受波器21で受波して、受波した超音波の中からノッチフィルタ25及びフィルタ群26によって該バットからのドップラー信号成分を抽出する。抽出したドップラー信号成分の周波数を周波数計測器31で計測し、これによりサンプリングされた複数の周波数データの中から上記データ特定部32によって最大周波数をもつものを特定する。そして、特定した周波数データに基づいて速度演算部33で速度を演算し、その速度を表示器40に表示する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】所定周波数の基準信号に基づいて生成された波を略円運動で移動する測定対象物に向けて送波し、該測定対象物からの反射波を受波し、該反射波のドップラー信号成分に基づき該測定対象物の線速度を測定する略円運動体の線速度測定方法において、上記測定対象物の軌道における測定点の接線方向から上記波を送波し、その反射波を該接線方向で受波し、受波した該測定対象物からの反射波のドップラー信号成分を複数サンプリングし、サンプリングした複数のドップラー信号成分のサンプリングデータの中から最大速度に相当する周波数をもつ特定サンプリング値を特定し、該特定サンプリング値に基づいて該測定対象物の相対移動速度を演算することを特徴とする略円運動体の線速度測定方法。

【請求項2】請求項1の略円運動体の線速度測定方法において、上記測定対象物からの反射波のドップラー信号成分をサンプリングするとき、該測定対象物がとり得る速度範囲に相当する周波数をもつドップラー信号成分のみをサンプリングすることを特徴とする略円運動体の線速度測定方法。

【請求項3】請求項1又は2の略円運動体の線速度測定方法において、上記サンプリングデータの中から上記特定サンプリング値を特定する場合、該サンプリングデータの周波数の経時変化に基づいて該サンプリングデータの中に該特定サンプリング値が含まれているか否かを判定し、含まれていると判定したときにはそのサンプリングデータの中から該特定サンプリング値を特定し、一方、含まれていないと判定したときには再び上記測定対象物からの反射波のドップラー信号成分をサンプリングすることを特徴とする略円運動体の線速度測定方法。

【請求項4】請求項3の略円運動体の線速度測定方法において、上記サンプリングデータの周波数の経時変化が、単位時間当たり所定の小さな範囲内の変化量で変化する速度変化に相当するときには、該サンプリングデータの中に該特定サンプリング値が含まれていないと判定することを特徴とする略円運動体の線速度測定方法。

【請求項5】請求項3又は4の略円運動体の線速度測定方法において、上記サンプリングデータの周波数の経時変化が、上記測定対象物の速度の大きさが単位時間当たり第1規定値以上の変化量で増加した後、単位時間当たり第2規定値以下の変化量で増加する速度変化に相当するときには、該サンプリングデータの中に該特定サンプリング値が含まれていると判定することを特徴とする略円運動体の線速度測定方法。

【請求項6】請求項3、4又は5の略円運動体の線速度測定方法において、上記サンプリングデータの周波数の経時変化が、上記測定対象物の速度の大きさが単位時間当たり第3規定値以上の変化量で減少した後、単位時間当たり第4規定値以下の変化量で減少する速度変化に相当するときには、該サンプリングデータの中に該特定サ

ンプリング値が含まれていると判定することを特徴とする略円運動体の線速度測定方法。

【請求項7】請求項3、4、5及び6の略円運動体の線速度測定方法において、上記サンプリングデータの周波数の経時変化が、上記測定対象物の速度の大きさが単位時間当たり上記第1規定値以上の変化量で増加する速度変化に相当するときは、該サンプリングデータの中に上記特定サンプリング値が含まれていないと判定することを特徴とする略円運動体の線速度測定方法。

【請求項8】請求項3、4、5、6又は7の略円運動体の線速度測定方法において、上記サンプリングデータの周波数の経時変化が、上記測定対象物の速度の大きさが単位時間当たり第4規定値以下の変化量で減少する速度変化（以下、「所定の減少傾向」という。）に相当するときは、該サンプリングデータの中に該特定サンプリング値が含まれていると判定することを特徴とする略円運動体の線速度測定方法。

【請求項9】請求項1、2、3、4、5、6、7又は8の略円運動体の線速度測定方法において、上記サンプリングデータの中から上記特定サンプリング値を特定するとき、移動平均法を用いて該サンプリングデータの移動平均値を計算し、該移動平均値の中から最大速度に相当する周波数をもつ移動平均値を特定することを特徴とする略円運動体の線速度測定方法。

【請求項10】請求項1、2、3、4、5、6、7、8又は9の略円運動体の線速度測定方法において、上記波として、超音波、電波又はコヒーレントな光を用いたことを特徴とする略円運動体の線速度測定方法。

【請求項11】所定周波数の基準信号に基づいて生成された波を測定対象物に向けて送波する送波手段と、該測定対象物からの反射波を受波する受波手段と、該反射波のドップラー信号成分に基づいて該測定対象物の相対移動速度を演算する速度演算手段とを備えた略円運動体の線速度測定装置において、上記測定対象物からの反射波のドップラー信号成分をサンプリングするサンプリング手段と、該サンプリング手段によってサンプリングした複数のドップラー信号成分のサンプリングデータの中から最大速度に相当する周波数をもつ特定サンプリング値を特定するデータ特定手段とを設け、該特定サンプリング値に基づいて上記速度演算手段により上記相対移動速度を演算することを特徴とする略円運動体の線速度測定装置。

【請求項12】請求項11の略円運動体の線速度測定装置において、上記サンプリング手段が、上記測定対象物がとり得る速度範囲に相当する周波数をもつドップラー信号成分のみをサンプリングすることを特徴とする略円運動体の線速度測定装置。

【請求項13】請求項11又は12の略円運動体の線速度測定装置において、上記データ特定手段が、上記サンプリングデータの中から上記特定サンプリング値を特定

するときに、請求項3、4、5、6、7又は8の略門運動体の線速度測定方法を実行することを特徴とする略門運動体の線速度測定装置。

【請求項14】請求項11、12又は13の略門運動体の線速度測定装置において、移動平均法を用いて上記サンプリングデータの移動平均を算出する移動平均算出手段を設け、上記データ特定手段が、該移動平均値の中から最大速度に相当する周波数をもつ移動平均値を特定し、その移動平均値に基づいて上記速度演算手段により上記相対移動速度を演算することを特徴とする略門運動体の線速度測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、略門運動体の線速度を測定する略門運動体の線速度測定方法及びその装置に係り、詳しくは、バットやゴルフクラブ等のスイング時におけるヘッド部分のような略門運動体に向けて送波した超音波、電波、光等の波の反射波を受波して得られたドップラー信号成分に基づいて、そのヘッド部分の速度すなわち該略門運動体の線速度を測定する線速度測定方法及びその装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来のこの種の線速度測定装置としては、ゴルフクラブのスイングしたときに略門運動を行うヘッド部分の速度を測定するものが知られている。このような速度測定装置としては、上記ヘッド部分の軌道に沿って列をなして設けられた複数の発光部と、これら発光部が発するビームをそれぞれ受光する受光部とから構成されたものが特公平4-12154号公報に開示されている。この装置は、ゴルフクラブのヘッド部分が上記各発光部が発するビームを横切ったときに上記各受光部が該ヘッド部分を検知する。そして、各受光部からの検知信号に基づいて該受光部間の距離から上記ヘッド部分の平均速度及び平均加速度を演算し、該演算結果を速度表示部及び加速度表示部に表示する。

【0003】また、特開平11-57105号公報には、ゴルフクラブのヘッド部分の軌道に沿って複数の磁気センサを設け、該磁気センサによって該ヘッド部分に取り付けられた磁気発生源の通過を検知し、その検知結果に基づいてヘッド速度及びヘッド加速度を演算してその演算結果を表示するゴルフクラブヘッドの運動測定装置が開示されている。この装置は、上記磁気センサとしてセンサコイルを使用し、上記ヘッド部分に取り付けた磁気発生源が該センサコイルから100～150mm程度離れた位置を通過することで該センサコイルに発生する誘起電力によって該ヘッド部分の通過を検出する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところが、上述した従来の速度測定装置においては、特公平4-12154号公報に開示された光電式のものであっても、特開平11

ー57105号公報に開示された磁界検出式のものであっても、その装置本体を測定対象物であるゴルフクラブのヘッド部分の軌道に近接して配置しなければ測定することができないという問題があった。この場合、測定対象物が速度測定装置に接触して該速度測定装置を壊してしまうことが起こり得る。

【0005】また、その他、ゴルフクラブのヘッド速度を測定するものとしては、該ゴルフクラブのヘッド付近のシャフト部分に取り付けられるバネ式の速度測定器が製品化されている。この装置は、安価ではあるが測定精度や分解能が低く、正確な速度測定をすることができないという問題がある。

【0006】一方で、このような略門運動体の線速度測定は、上述したゴルフクラブのヘッド速度測定以外に、野球のバットスイング時のヘッド速度測定にもニーズがある。このようなバットのヘッド速度の測定装置は特に製品として市場に出回っていないが、従来、バットのヘッド部分の軌道を挟み込むようにしてその鉛直方向に発光器及び受光器を配置し、該ヘッド部分が該発光部が発するビームを横切ったときに該受光部が該ヘッド部分によってビームが遮られた時間と該ヘッド部分の幅とから該ヘッド部分の速度を算出する装置が提案されている。

【0007】ところで、従来、音波等の波を利用してボール等のように略直線運動する測定対象物から反射してきた波を受波して得られたドップラー信号成分に基づいて該測定対象物の速度を測定する速度測定装置が知られている。このような速度測定装置は、所定周波数の基準信号に基づいて生成した波を測定対象物に向けて送波する送波手段と、該対象物から反射してきた反射波を受波して受信信号とし、該受信信号中のドップラー信号成分を抽出する受波手段と、該ドップラー信号成分に基づいて本装置に対する該対象物の相対移動速度を演算する速度演算手段とを備えた構成となっている。この速度測定装置によれば、測定対象物からある程度離れた位置から該測定対象物の速度を測定することができる。

【0008】この速度測定装置のようにドップラー効果を利用して速度測定するものは、測定対象物の速度方向にドップラーシフトを受けた反射波に基づいて速度演算する。従って、ボール等のように速度の向きが一定である略直線運動体を測定対象とした場合にはそのドップラー信号成分の周波数の経時変化は少ない。この結果、その周波数データの平均を算出すれば、高い精度で速度測定することができる。一方、略門運動体のように速度（線速度）の向きが経時的に変化するものを測定対象とする場合、該測定対象物によってドップラーシフトを受けた反射波からはその線速度の余弦成分が演算されることになる。従って、このドップラー信号成分の周波数は経時的に大きく変化し、その周波数データの平均を算出しても正確な速度測定をすることができなかった。

【0009】また、上記特公平4-12154号公報に

開示された装置や上述したバットのヘッド速度測定装置のような光電式のものにおいては、屋外で使用する太陽光の影響を受けて測定ができないという問題もあった。

【0010】本発明は、以上の背景に鑑みなされたものであり、第1の目的は、従来より測定対象物である略円運動体から離れた位置から該略円運動体の線速度を高い精度で測定することができる略円運動体の線速度測定方法及びその装置を提供することである。また、第2の目的は、屋外での測定が可能な略円運動体の線速度測定方法を提供することである。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記第1の目的を達成するために、請求項1の発明は、所定周波数の基準信号に基づいて生成された波を略円運動で移動する測定対象物に向けて送達するとともに該測定対象物からの反射波を受波する測定手段によって、該反射波のドップラー信号成分に基づき該測定対象物の軌道上の測定点における該測定対象物の線速度を測定する略円運動体の線速度測定方法において、上記測定手段を上記測定対象物の軌道上における測定点の接線方向に配置し、該測定手段で受波した該測定対象物からの反射波のドップラー信号成分を複数サンプリングし、サンプリングした複数のドップラー信号成分のサンプリングデータの中から最大速度に相当する周波数をもつ特定サンプリング値を特定し、該特定サンプリング値に基づいて該測定対象物の相対移動速度を演算することと特徴とするものである。

【0012】このように測定対象物からの反射波をもつドップラー信号成分に基づいて速度演算を行う測定方法においては、その測定方法を実行する該測定対象物と測定手段とを結ぶ方向（以下、「速度測定方向」という。）における該測定手段に対する該測定対象物の相対移動速度を測定することができる。しかし、測定対象が略円運動体である場合、該測定対象物の線速度の向きはその軌道上の接線方向に向いており、その向きは該測定対象物が移動することによって経時的に変化する。従って、上記測定手段を任意の位置に配置して略円運動体の相対移動速度を測定する場合、速度測定方向と上記軌道上における各点の接線方向とのなす角における線速度の余弦成分が上記相対移動速度を示すことになる。

【0013】そこで、本請求項の線速度測定方法においては、まず、略円運動で移動する測定対象物の軌道上の所望の測定点に対してその接線方向の延長線上に測定手段を配置する。これにより、測定点における測定対象物の線速度の向きと上記速度測定方向とを一致させることができる。このとき、この線速度測定方法で演算される測定対象物の相対移動速度が、測定点において該測定対象物の線速度そのものである。

【0014】上記測定手段は、上記軌道上の各点における測定対象物からの反射波を受波する。この測定手段に

受波された反射波から求められる相対移動速度は、上述したように上記測定対象物の線速度の余弦成分であるため、該測定手段を測定点における測定対象物の進行方向に配置した場合には、測定点における反射波から求められる相対移動速度が一番大きい値を示すことになる。一方、上記測定手段を測定点における測定対象物の進行方向に対して反対方向に配置した場合には、測定点における反射波から求められる相対移動速度が一番小さい値を示すことになる。従って、上記測定手段でサンプリングされたドップラー信号成分のサンプリングデータの中から最大速度に相当する周波数をもつサンプリング値を特定すれば、測定点における測定対象物の相対移動速度を演算することができ、測定対象物の線速度を測定することができる。ここで、最大速度に相当する周波数とは、上記測定手段を測定点における測定対象物の進行方向に配置した場合には最大周波数を意味し、進行方向に対して反対方向に配置した場合には最小周波数を意味する。

【0015】特に、請求項2の発明は、請求項1の略円運動体の線速度測定方法において、上記測定対象物からの反射波のドップラー信号成分をサンプリングするとき、該測定対象物がとり得る速度範囲に相当する周波数をもつドップラー信号成分のみをサンプリングすることと特徴とするものである。

【0016】この線速度測定方法においては、測定対象物がとり得る速度範囲を予測してその速度範囲内のものだけをサンプリングするので、ノイズによる影響を少なくすることができる。

【0017】また、請求項3の発明は、請求項1又は2の略円運動体の線速度測定方法において、上記サンプリングデータの中から上記特定サンプリング値を特定する場合、該サンプリングデータの周波数の経時変化に基づいて該サンプリングデータの中に該特定サンプリング値が含まれているか否かを判定し、含まれていると判定したときにはそのサンプリングデータの中から該特定サンプリング値を特定し、一方、含まれていないと判定したときには再び上記測定対象物からの反射波のドップラー信号成分をサンプリングすることと特徴とするものである。

【0018】この線速度測定方法は、サンプリング数を限定して上記特定サンプリング値を有するサンプリングデータを得るまでサンプリングを繰り返すリアルタイムでの処理が可能となる。このリアルタイムで処理する方法を用いれば、運動中の測定対象物によるドップラー信号成分を全てサンプリングした後にバッチ処理で行う方法に比べて、サンプリングデータを記憶する記憶手段の記憶容量を小さく抑えることが可能となる。また、バッチ処理で行う方法では、測定開始及び終了を装置に知らせる手段も必要になり、装置構成が複雑化するという不具合があるが、そのような不具合も解消される。

【0019】ところで、通常、サンプリング数やサンパ

リング間隔は、サンプリングデータの周波数の経時変化を判定できるように、測定対象物が与り得る速度範囲に対応して設定される。従って、ほとんど経時変化のないサンプリングデータを得た場合には、そのサンプリングデータはノイズかあるいは等速運動する他の反射対象物によるものと考えられる。

【0020】そこで、請求項4では、このようなノイズ等によるサンプリングデータを排除するようにしている。すなわち、請求項4の発明は、請求項3の略円運動体の線速度測定方法において、上記サンプリングデータの周波数の経時変化が、単位時間当たり所定の小さな範囲内の変化量で変化する速度変化（以下、「所定の不变傾向」という。）に相当するときは、該サンプリングデータの中に該特定サンプリング値が含まれていないと判定することと特徴とするものである。ここで、「単位時間当たり所定の小さな範囲内の変化量」とは、測定対象物の速さの時間に対する傾きが規定範囲内に収まるような速度変化のことであり、該速さがほとんど変化しない程度の速度変化を意味する。

【0021】この線速度測定方法においては、所定の不变傾向に相当するサンプリングデータを排除することでノイズ等を除去し、誤計測の要因を低減することができる。

【0022】また、上述した請求項3の線速度測定方法では、全てのサンプリングデータのうちの一部のサンプリングデータ内に特定サンプリング値が含まれているか否かを判定する。しかし、上記判定によって「特定サンプリング値が含まれていない」と判定された場合には、再びサンプリングを開始して再度上記判定を行うことになる。このため、例えば、1回目のサンプリングデータの判定を行っている間、すなわち、その1回目のサンプリングと2回目のサンプリングとの間にちょうど特定サンプリング値が存在してしまった場合、該特定サンプリング値をサンプリングし損ねてしまうことがある。この場合には、線速度測定を行うことができない。

【0023】そこで、請求項5及び6では、上記特定サンプリング値付近のサンプリングデータも抽出できるようにしている。すなわち、請求項5の発明は、請求項3又は4の略円運動体の線速度測定方法において、上記サンプリングデータの周波数の経時変化が、上記測定対象物の速度の大きさが単位時間当たり第1規定値以上の変化量で減少した後、単位時間当たり第2規定値以下の変化量で増加する速度変化に相当するときには、該サンプリングデータの中に該特定サンプリング値が含まれていないと判定することと特徴とするものである。この線速度測定方法における判定対象となるサンプリングデータは、比較的大きい変化量で増加した後にほぼ一定となるような速度変化に相当するものである。

【0024】また、請求項6の発明は、請求項3、4又は5の略円運動体の線速度測定方法において、上記サン

プリングデータの周波数の経時変化が、上記測定対象物の速度の大きさが単位時間当たり第3規定値以上の変化量で減少した後、単位時間当たり第4規定値以下の変化量で減少する速度変化に相当するときには、該サンプリングデータの中に該特定サンプリング値が含まれていると判定することと特徴とするものである。この線速度測定方法における判定対象となるサンプリングデータは、ほぼ一定の状態から比較的大きい変化量で減少するような速度変化に相当するものである。

【0025】上記請求項5の線速度測定方法においては、単位時間当たり第2規定値以下の変化量で増加する特定サンプリング値の直前にあるサンプリングデータを抽出することができる。また、上記請求項6の線速度測定方法においては、単位時間当たり第3規定値以上の変化量で減少する特定サンプリング値の直後にあるサンプリングデータを抽出することができる。一方で、上記請求項5及び6において判定されるサンプリングデータが上述した請求項4に該当してしまうとこれらサンプリングデータがノイズ等と判断されてしまうので、請求項5及び6の線速度測定方法では、第1規定値及び第4規定値を設定して、請求項4との区別を図っている。

【0026】また、上記請求項5及び6の線速度測定方法で判定される特定サンプリング値付近のサンプリングデータは、上述した理由により必要とされるのに対して、該特定サンプリング値から時間的に離れたサンプリングデータは不要のものである。そこで、請求項7では、この不要なサンプリングデータを排除している。すなわち、請求項7の発明は、請求項3、4、5及び6の略円運動体の線速度測定方法において、上記サンプリングデータの周波数の経時変化が、上記測定対象物の速度の大きさが単位時間当たり上記第1規定値以上の変化量で増加する速度変化（以下、「所定の増加傾向」という。）に相当するときは、該サンプリングデータの中に上記特定サンプリング値が含まれていないと判定することと特徴とするものである。

【0027】この線速度測定方法では、常に所定の増加傾向をもつサンプリングデータを上記特定サンプリング値よりも前の時間的に離れたものと判断し、このようなサンプリングデータを排除している。

【0028】また、特定サンプリング値よりも後ろのサンプリングデータも同様に不要のものである。しかし、上記請求項5及び6の線速度測定方法を採用して特定サンプリング値付近のサンプリングデータを抽出するようにしても、やはりサンプリングデータをサンプリングし損ねてしまう場合が起こり得る。この場合、その測定における線速度を全く知ることができない。

【0029】そこで、請求項8では、特定サンプリング値よりも後のサンプリングデータであっても抽出できるようにしている。すなわち、請求項8の発明は、請求項3、4、5、6又は7の略円運動体の線速度測定方法に



において、上記サンプリングデータの周波数の経時変化が、上記測定対象物の速度の大きさが単位時間当たり第4規定値以下の変化量で減少する速度変化（以下、「所定の減少傾向」という。）に相当するときには、該サンプリングデータの中に該特定サンプリング値が含まれていると判定することを特徴とするものである。

【0030】この線速度測定方法においては、所定の減少傾向に相当するサンプリングデータ中に特定サンプリング値が含まれていると判定することにより、その測定における線速度を全く知ることができずにNGになる頻度を少なくすることができる。また、このようなサンプリングデータは特定サンプリング値からあまり離れたものではないと考えられ、しかも該特定サンプリング値付近では周波数の経時変化が非常に小さい。従って、このサンプリングデータ中に特定サンプリング値が含まれていると判定してもその誤差は少なく抑えることができる。

【0031】請求項9の発明は、請求項1、2、3、4、5、6、7又は8の略円運動体の線速度測定方法において、上記サンプリングデータの中から上記特定サンプリング値を特定するとき、移動平均法を用いて該サンプリングデータの移動平均値を計算し、該移動平均値の中から最大速度に相当する周波数をもつ移動平均値を特定することを特徴とするものである。

【0032】この線速度測定方法においては、サンプリングしたドップラー信号成分のサンプリングデータをそのまま用いるのではなく、該サンプリングデータの移動平均値を計算して、その移動平均値の中から最大速度に相当する周波数をもつ移動平均値を特定する。これにより、サンプリングデータ中にノイズが含まれている場合であっても、該ノイズによる測定誤差を軽微に抑えることができる。

【0033】上記第2の目的を達成するために、請求項10の発明は、請求項1、2、3、4、5、6、7、8又は9の略円運動体の線速度測定方法において、上記波として、超音波、電波又はコヒーレントな光を用いたことを特徴とするものである。

【0034】この線速度測定方法においては、超音波、電波又はコヒーレントな光を利用して速度測定するので、従来の光電式の速度測定装置のように太陽光の影響を受けることがない。

【0035】上記第1の目的を達成するために、請求項11の発明は、所定周波数の基準信号に基づいて生成された波を測定対象物に向けて送波する送波手段と、該測定対象物からの反射波を受波する受波手段と、該反射波のドップラー信号成分に基づいて該測定対象物の相対移動速度を演算する速度演算手段とを備えた略円運動体の線速度測定装置において、上記測定対象物からの反射波のドップラー信号成分をサンプリングするサンプリング手段と、該サンプリング手段によってサンプリングした

複数のドップラー信号成分のサンプリングデータの中から最大速度に相当する周波数をもつ特定サンプリング値を特定するデータ特定手段とを設け、該特定サンプリング値に基づいて上記速度演算手段により上記相対移動速度を演算することとを特徴とするものである。

【0036】略円運動で移動する測定対象物の軌道上上の所望の測定点に対してその接線方向の延長線上にこの線速度測定装置を配置すると、該測定点における上記測定対象物の線速度の向きと、該線速度測定装置に対する該測定対象物の相対移動速度の向きである速度測定方向とが一致する。このように一致させれば、この線速度測定装置を測定点における測定対象物の進行方向に配置した場合には、測定点における反射波から求められる相対移動速度が一番大きい値を示すことになる。一方、上記線速度測定装置を測定点における測定対象物の進行方向に対して反対方向に配置した場合には、測定点における反射波から求められる相対移動速度が一番小さい値を示すことになる。従って、上記データ特定手段で最大速度に相当する最大周波数若しくは最小周波数をもつサンプリング値を特定すれば、上記速度演算手段によって測定点における測定対象物の相対移動速度を演算することができ、測定対象物の線速度を測定することができる。

【0037】特に、請求項12の発明は、請求項11の略円運動体の線速度測定装置において、上記サンプリング手段が、上記測定対象物がとり得る速度範囲に相当する周波数をもつドップラー信号成分のみをサンプリングすることを特徴とするものである。

【0038】この線速度測定装置においては、測定対象物がとり得る速度範囲を予測してその速度範囲内のものだけをサンプリングするので、ノイズによる影響を少なくすることができる。

【0039】また、請求項13の発明は、請求項11又は12の略円運動体の線速度測定装置において、上記データ特定手段が、上記サンプリングデータの中から上記特定サンプリング値を特定するとき、請求項3、4、5、6、7又は8の略円運動体の線速度測定方法を実行することを特徴とするものである。

【0040】この線速度測定装置においては、サンプリング手段によってサンプリングしたサンプリングデータの中から特定サンプリング値を特定するデータ特定手段が、請求項3、4、5、6、7又は8の線速度測定方法の処理動作を実行するので、サンプリングデータを記憶する記憶手段の記憶容量を小さく抑え、リアルタイムでの迅速な処理が可能となる。

【0041】また、請求項14の発明は、請求項11、12又は13の略円運動体の線速度測定装置において、移動平均法を用いて上記サンプリングデータの移動平均値を算出する移動平均算出手段を設け、上記データ特定手段が、該移動平均値の中から最大速度に相当する周波数をもつ移動平均値を特定し、その移動平均値に基づい

て上記速度演算手段により上記相対移動速度を演算することを特徴とするものである。

【0042】この線速度測定装置においては、サンプリングしたドップラー信号成分のサンプリングデータをそのまま用いるのではなく、該サンプリングデータの移動平均値を計算して、その移動平均値の中から最大速度に相当する周波数をもつ移動平均値を特定する。これにより、サンプリングデータ中にノイズが含まれている場合であっても、該ノイズによる測定誤差を軽微に抑えることができる。

【0043】

【発明の実施の形態】以下、本発明を、スイング時において略円運動する略円運動体であるバットの線速度すなわち該バットのヘッド速度を測定するヘッド速度測定装置（以下、単に「測定装置」という。）に適用した一実施形態について説明する。本実施形態では、この速度測定装置に使用する波として超音波を利用し、この超音波を測定対象物であるスイング中のバットのヘッド部分に向けて送波する。そして、このバットから反射してきた反射波のドップラー効果を利用して該バットのヘッド速度を測定する。

【0044】まず、本実施形態に係る測定装置によってバットのヘッド速度を測定するための測定システム全体の構成について説明する。この測定システムにおいては、バットのスイング中にボールがインパクトする位置すなわちボールの進行方向に対してバットが垂直になる位置におけるヘッド速度を測定する。

【0045】図1は、本実施形態における測定システムの概略構成図である。この測定システムでは、上記測定装置1は、バッター3が打席に立ってバット2をスイングするときのビッチャー方向に配置されている。バッター3がバット2をスイングしたとき、そのヘッド部分2aは図1中破線矢印Aに示す軌道に沿って略円軌道を描いて移動する。尚、以下の説明では、上記測定装置1と測定点におけるヘッド部分2aの位置とを結ぶ方向をX方向という。

【0046】次に、上記測定装置1の構成について説明する。図2は、本実施形態に係る測定装置1を示すブロック図である。この測定装置1は、送波手段としての超音波送波部10と、受波手段としての超音波受波部20と、信号処理部30と、報知手段としての表示部40とを備えている。以下、各部の構成及び動作に説明する。

【0047】まず、上記超音波送波部10の構成及び動作について説明する。この超音波送波部10は、所定周波数 $F_0$ の基準信号に基づいて超音波を連続的にバット2のヘッド部分2aに向けて送波する。この超音波送波部10は、所定周波数 $F_0$ の基準信号を発生させるための基準発振器11と、該基準信号を所定レベルにまで増幅する出力増幅器12と、該出力増幅器で増幅された所定の電気信号を超音波に変換する超音波送波器13とを

備えている。

【0048】次に、上記超音波受波部20の構成及び動作について説明する。この超音波受波部20は、上記超音波送波部10から送波された超音波が上記バット2に反射され、その戻ってきた反射波を含む超音波を受波し、受波した超音波の受信信号の中からドップラー信号成分を抽出する。この超音波受波部20は、超音波を電気信号に変換する超音波受波器21と、該超音波受波器から出力される微弱な受信信号を増幅する前置増幅器22と、該前置増幅器から出力された受信信号の中から上記超音波送波部10からの直接波及び静止物体からのドップラーシフトを受けていない反射波を除去するノッチフィルタ25と、該ノッチフィルタを通過したドップラー信号成分がとり得る周波数帯域によって該ドップラー信号成分を選択的に通過させるフィルタ群26と、該フィルタ群を通過した複数のドップラー信号成分をそれぞれ検出する信号検出器群27と、該信号検出器群の検出結果に基づいてヘッド部分2aによるドップラー信号成分を選択する信号選択部28と、該信号選択部の選択結果に基づいて該フィルタ群から出力される複数のドップラー信号成分の中の1つを出力する出力切替器29とから構成されている。

【0049】上記超音波受波器21で受波された超音波は電気信号に変換された後、上記前置増幅器22によって増幅されて上記ノッチフィルタ25に入力される。このノッチフィルタ25によって、上記超音波送波部10から送波される超音波の基準信号と同じ周波数である基準周波数 $F_0$ の信号成分を選択的に減衰させ、後段の回路の飽和を防ぐことができる。

【0050】このノッチフィルタ25は、その減衰帯域の中心周波数が該基準周波数 $F_0$ に設定されている。これにより、上記超音波送波部10から直接伝搬した強い超音波を減衰させて、受波した超音波の中から上記バット2からの微弱な反射波を効率よく抽出することができる。上記ノッチフィルタ25としては、例えば、ローパスフィルタ及びハイパスフィルタのカットオフ周波数を同じにしたものを並列に組み合わせで構成したものを利用することができる。尚、このノッチフィルタ25の基本波信号成分に対する減衰率は、後段の回路において所定の信号処理を行えるように適宜設定される。

【0051】上記フィルタ群26は、上記バット2からの反射波によるドップラー信号成分がとり得る周波数帯域を5つに分割して得られた5つの周波数帯域（HH、HL、M、LH、LL）のみをそれぞれ通過させる5個のバンドパスフィルタ（BPF1、BPF2、BPF3、BPF4、BPF5）から構成されている。上記ノッチフィルタ25から出力されて5つに分岐されたドップラー信号成分は、上記各バンドパスフィルタ（BPF1、BPF2、BPF3、BPF4、BPF5）にそれ

ぞれ入力される。そして、各バンドパスフィルタを通過したそれぞれの帯域信号  $Se$  (SeHH~SeLL) は、信号検出器群 27 及び出力選択器 29 に出力される。尚、上記フィルタ群 26 に設けられるバンドパスフィルタの個数は、5個に限定されるのではなく、測定速度範囲や要求される測定精度に応じて適宜決定される。

【0052】上記フィルタ群 26 に使用する各バンドパスフィルタ (BPF1, BPF2, BPF3, BPF4, BPF5) は、例えば、上記基準信号の周波数  $F_0$  を 32.768 kHz とし、測定速度範囲を 50~180 km/h とした場合には、ドップラー信号成分がとり得る周波数帯域は、35.5~43.9 kHz となるので、上記フィルタ群 26 の各バンドパスフィルタ (BPF1, BPF2, BPF3, BPF4, BPF5) の中心周波数をそれぞれ 36.3 kHz、38.0 kHz、39.7 kHz、41.4 kHz、43.1 kHz に設定し、通過帯域幅を 1.7 kHz に設定する。

【0053】上記フィルタ群 26 を通過した各帯域信号  $Se$  は上記信号検出器群 27 に入力される。この信号検出器群 27 は、上記フィルタ群 26 に設けられたバンドパスフィルタの個数に対応した 5 つの信号検出器から構成されている。これら信号検出器は、各信号検出器において予め設定されている閾値よりも上記バンドパスフィルタから出力された帯域信号  $Se$  の方が大きな信号レベルをもつ場合に、検出信号  $Sf$  を上記信号選択部 28 に出力する。

【0054】また、上記フィルタ群 26 を通過した各帯域信号  $Se$  は上記出力切替器 29 にも入力される。この出力切替器 29 は、上記信号選択部 28 の制御の下で、入力された帯域信号  $Se$  のうちの 1 つの信号  $Sh$  を上記信号処理部 30 に出力する。

【0055】上記信号選択部 28 は、上記信号検出器群 27 から出力された検出信号  $Sf$  の中から最も周波数の高い検出信号を選択し、上記出力切替器 29 を制御して、選択した検出信号  $Sf$  に対応する帯域信号  $Sh$  を上記信号処理部 30 に出力させる。すなわち、この信号選択部 28 は、上記超音波受波器 21 によって受波した超音波のドップラー信号成分の中から最も周波数が高いものを選択する。

【0056】このようにドップラー信号成分の中から最も高い周波数を選択するのは、上記超音波受波器 21 で受波される超音波のドップラー信号成分が必ずしもバット 2 のヘッド部分 2a からのものであるとは限らないからである。具体的に説明すると、ドップラースhift を受けた反射波が発生させる物体が上記ヘッド部分 2a のみであれば、上記超音波受波器 21 で受波した超音波のドップラー信号成分は 1 つであると考えられることができる。しかし、上記超音波送波器 10 から送波される超音波は、回折によって広がりがながら進行するため、測定対象

であるヘッド部分 2a のみに当てることはほぼ不可能である。このため、上記超音波受波器 21 にはヘッド部分 2a からの反射波以外に、例えば、バットの胴体部分やグリップ部分、該バットをスイングするバッターの腕や身体などからの反射波も受波されることになる。上記超音波受波器 21 に受波される反射波は各反射対象物によってそれぞれ異なるドップラースhift を受けている。従って、上記超音波受波器 21 には周波数の異なる複数の反射波が受波されることになり、その受信信号は周波数の異なる複数のドップラー信号成分が重畳したものとなる。このため、バット 2 のヘッド速度を正確に測定することができないおそれがある。

【0057】しかし、測定対象物であるヘッド部分 2a は、バッター 3 の身体を中心に略円運動するので、本実施形態における測定範囲内に存在する反射対象物の中で最も速度が速いと考えられる。従って、このヘッド部分 2a によるドップラー信号成分は、受波されたドップラー信号成分の中で最も高い周波数をもつことになる。よって、このドップラー信号成分の中から最も高い周波数をもつものを選択すれば、上記ヘッド部分 2a からの反射波に基づくドップラー信号成分を得ることができる。そこで、本実施形態では、上記フィルタ群 26、上記信号検出器群 27 及び上記信号選択部 28 を用いてドップラー信号成分の中から最も周波数が高いものを選択し、そのドップラー信号成分を速度演算に使用するように構成している。

【0058】次に、上記信号処理部 30 の構成及び動作について説明する。この信号処理部 30 は、上記超音波受波器 20 の出力切替器 29 から連続的に出力される帯域信号  $Sh$  の周波数  $F_1$  を計測する周波数計測器 31 と、該周波数計測器で計測された周波数データの中からヘッド部分 2a の軌道上における測定点の周波数データを特定するデータ特定手段としてのデータ特定部 32 と、該データ特定部で特定された周波数データに基づいて速度を演算する速度演算手段としての速度演算部 33 と、気温による音速変動を補正するために気温を計測する温度計測器 34 とから構成されている。

【0059】上記出力切替器 29 から出力された帯域信号  $Sh$  は、上記周波数計測器 31 によって等時間間隔でサンプリングし、上記データ特定部 32 に出力する。ここで計測される周波数  $F_1$  は、図 1 中に示す X 方向におけるドップラースhift を受けたものである。

【0060】以下、本発明の特徴部分であるデータ特定部 32 のデータ処理動作について説明する。図 3 は、上記データ特定部 32 のデータ処理動作を示すフローチャートである。本実施形態では、スイング中のヘッド部分 2a のドップラー信号成分の周波数データ中の連続する 15 個の周波数データをサンプリングし、このサンプリングデータの経時変化に基づいて特定サンプリング値である測定点の周波数データを特定する。ここでは、サン

プリング数が15個の場合について説明するが、このサンプリング数はサンプリング間隔や測定精度等に応じて適宜設定される。尚、上記データ特定部32には、サンプリングした周波数データの数をカウントする図示しないデータ数カウンターが設けられており、該データ数カウンターの初期状態は「1」に設定されている。

【0061】上記データ特定部32では、まず、上記周波数計測器31によって計測された1個目の周波数データを取り込み(S1)、該周波数データが予め設定された規定速度範囲内にある速度に対応するものであるかを否かを判断する(S2)。本実施形態における規定速度範囲は、後述する速度演算部33の演算処理によって速度が50〜180km/hとなる周波数範囲に設定されている。これは、取り込んだ周波数データが50km/hよりも小さい速度に対応するものである場合には該周波数データはバッタ3の身体等からの反射波によるものであると考えられ、また、バットのヘッド速度測定では180km/hよりも大きい速度の必要性が低いため、このような速度範囲も除外している。

【0062】上記S2において周波数データが規定速度範囲内のものであると判断された場合には、この周波数データを1個目の周波数データとしてメモリ35に格納する(S3)。一方、上記周波数データが規定速度範囲内のものでないと判断された場合には、上記周波数計測器31からの新しい周波数データを再び1個目の周波数データとして取り込みを開始する(S1)。

【0063】上記S3において1個目の周波数データをメモリに格納したら、上記周波数計測器31からの新しい周波数データを2個目の周波数データとして取り込み(S4)。上記S2と同様に該周波数データが上記規定速度範囲内のものであるかを否かを判断する(S5)。このとき、取り込んだ2個目の周波数データが規定速度範囲内のものでないと判断された場合には上記データ数カウンターをリセットする(S6)。そして、この2個目の周波数データを1個目の周波数データとして上記メモリ35に格納し(S3)、上記周波数計測器31からの新しい周波数データを再び2個目の周波数データとして取り込みを開始する(S4)。

【0064】上記S5において2個目の周波数データが規定速度範囲内のものであると判断された場合には、この2個目の周波数データと、1つ前に取り込まれた1個目の周波数データとの差の絶対値を算出し(S7)、この絶対値が予め設定された規定変動範囲内にある速度に対応するものであるかを否かを判断する(S8)。本実施形態における規定変動範囲は、後述する速度演算部33の演算処理によって速度が5km/h以下となる周波数範囲に設定されている。この周波数範囲は、大量のバットスイングやゴルフスイングの実測データに基づいて最適であるとされた範囲である。これは、最上計データ特定部32の周波数データ取込間隔が360μsecであ

り、この時間内に5km/h以上の速度変動があるものはノイズであると考えられるためである。また、ヘッド部分2aが測定点に達するまでは、他の反射対象物によって周波数データの経時変動に大きなバラツキが生じるため、その部分のデータを排除して該ヘッド部分のX方向速度に対応した周波数データのみをサンプリングするためである。この理由については後述する。

【0065】上記S8において上記絶対値が規定変動範囲内にないと判断された場合には、上記S6に移行して上記データ数カウンターをリセットした後(S6)、上記2個目の周波数データを1個目の周波数データとして上記メモリ35に格納し(S3)、上記周波数計測器31からの新しい周波数データを再び2個目の周波数データとして取り込みを開始する(S4)。

【0066】一方、上記S8において上記絶対値が規定変動範囲内にあると判断された場合には、上記データ数カウンターを1増加させる(S9)。そして、このデータ数カウンターが規定値に達したかを否かを判断する(S10)。本実施形態では、周波数データのサンプリング数が15個であるため、この規定値は15に設定されている。ここでは、まだ2個目の周波数データしか取り込んでいないため、上記S10においてデータ数カウンターがまだ規定値に達していないと判断される。この場合、再び上記S3に戻ってこの2個目の周波数データを上記メモリ35に格納し(S3)、上記周波数計測器31からの新しい周波数データを3個目の周波数データとして取り込みを開始する(S4)。以後、上記データ数カウンターが規定値に達したと判断されるまで上記S10までの工程を繰り返す。

【0067】このように、連続する15個の周波数データをサンプリングして上記S10においてデータ数カウンターが規定値に達したと判断されたら、上記1〜15個目の周波数データの経時変化を示すこれら周波数データの傾きの外形が、図4に示す予め設定された判定基準のどれに該当するかを傾き判定を行う(S11)。

【0068】ここで、図4に示す判定基準について説明する前に、スイング中のバットの運動状態について説明する。図5は、スイング時におけるバット位置の経時変化を示す概略図である。この図は、バッタ3によってスイングされたバット2を鉛直方向上から1/60秒間隔で撮影して得たものである。図中、白丸はバット2のグリップ部分を示し、黒丸は該バットのヘッド部分を示す。また、測定点Oはボールのインパクト時のヘッド部分2aが位置する点であり、上記測定装置1はX軸上に配置されている。

【0069】図5に示すように、上記ヘッド部分2aの軌道は、スイング開始当初はバッタ3の身体を中心として略円軌道を描き、バット2のグリップ部分の位置がバッタ3の正面すなわち図中Y軸上に来たら、今度は該グリップ部分が固定されてこれを中心として略円軌道を描

く、そして、上記ヘッド部分2aがY軸上を通過してしばらくすると、該ヘッド部分は再びバッタ3の身体を中心に略円運動を行う。

【0070】上記ヘッド部分2aが上記測定点Oを通過するまでのヘッド速度のX方向成分 $V_x$ は、図5に示すように、該軌道の接線方向とX方向のなす角 $\theta$ における該ヘッド速度 $V$ の余弦となる。また、このX方向成分 $V_x$ は測定点Oに達したときに最大となり、ヘッド速度 $V$ そのものとなる。

【0071】図6は、図5に示すバットスイング時における測定範囲内のX方向において測定される速度（以下、「X方向速度」という。）と時間との関係を示すグラフである。このグラフの外形は、スイング開始時からしばらくの間は速度変動にバツキがあり、途中で1度落ち込んで後、ほぼ正弦波形式を示して減少する。尚、このグラフの特徴は、何度測定を行ってもほぼ同様であった。

【0072】図6に示すグラフから推測すると、測定範囲内において、スイング開始時では、バッタ3の身体や腕等の他の反射対象物、特にバット2のグリップ部分におけるX方向速度がヘッド部分2aのものよりも速く、しかもこのような他の反射対象物が複数存在するため、速度変動にバツキが出てしまうと考えられる。また、しばらくすると、急激に速度が落ち込む部分が存在するが、この部分は、図5で示したようにグリップ部分の動きが一度止まったときのものであると考えられる。具体的には、バッタ3がバット2をスイングする場合、通常、該バットのグリップ部分が身体の側方から正面に高速で移動するので、ここまでのスイング動作中ではこのグリップ部分のX方向速度が最も速いと考えられる。従って、このグリップ部分が身体の正面に来て動きを止めたことにより、測定範囲内のX方向速度が一時的に落ち込んだものと考えられる。

【0073】このように落ち込んだ後は、急速に速度が上昇し、最速点に達してからほぼ正弦波形式を示して減少する。上述のようにグリップ部分が止まった後、図5に示したようにバット2は該グリップ部分を中心に回転し始め、今後はそのヘッド部分2aのX方向速度が増加してくる。しばらくすると、このヘッド部分2aのX方向成分 $V_x$ が測定範囲内の他の反射対象物のX方向速度よりも速くなる。従って、上述のように落ち込んだ後は、上記X方向成分 $V_x$ のみが測定されることになり、図6に示すグラフにおいてはバツキの少ない正弦波形式が得られることになると考えられる。

【0074】以上、スイング中のバットの運動状態について考察した結果、図6におけるグラフにおいて落ち込んだ後に得られる最速点が、図5における測定点Oにおけるヘッド速度 $V$ のX方向成分 $V_x$ であると考えられる。これは、測定点Oに光電センサを設置し、図6に示した速度測定と並行して測定したとき、該光電センサの

反応と最速点とがほぼ同一タイミングであったことにより確認されている。そこで、上記S11では、測定範囲内のX方向速度を示す15個の周波数データの時間に対する傾きの表す外形が、図4に示す判定基準A～Fのどれに該当するかを判定することにより、サンプリングされた周波数データの中に測定点Oにおける周波数データが含まれているか否かを判定する。

【0075】図4において、判定基準Aに示す傾きの外形は、ヘッド部分2aのX方向成分 $V_x$ が、1個目の周波数データの計測時から所定の増加傾向をもつ場合を示している。すなわち、この判定基準Aに該当する場合、サンプリングされた周波数データは、バッタ3がバット2をスイングし始めてからそのヘッド部分2aが測定点Oに達していないときのものであると言える。この場合、これら周波数データ中には測定点Oにおける周波数データが含まれていない。従って、上記S11においてこの判定基準Aに該当すると判定された場合には、上記S6に移行して上記データ数カウンタをリセットした後（S6）、最後に取り込んだ15個目の周波数データを1個目の周波数データとして上記メモリ35に格納し（S3）、上記周波数計測器31からの新しい周波数データを再び2個目の周波数データとして取り込みを開始する（S4）。

【0076】判定基準Bに示す傾きの外形は、上記X方向成分 $V_x$ が、1個目の周波数データの計測時から所定の増加傾向をもった後にほぼ一定とみなすことができる程度になった場合を示している。すなわち、この判定基準Bに該当する場合、サンプリングされた周波数データは、ヘッド部分2aが測定点O前から該測定点Oにほぼ達したときのものであると言える。従って、上記S11においてこの判定基準Bに該当すると判定された場合には、サンプリングした周波数データ中に測定点Oにおける周波数データが含まれているとして、これら周波数データを次のデータ処理工程に移行する。

【0077】判定基準Cに示す傾きの外形は、上記X方向成分 $V_x$ が、1個目の周波数データの計測時から不変傾向をもつ場合を示している。本実施形態で設定した周波数データ取込間隔及びそのサンプリング数の場合、上記判定基準Cのように速度変化がほとんどないということは考えにくく、この周波数データはむしろ超音波ノイズである可能性の方が高い。従って、上記S11においてこの判定基準Cに該当すると判定された場合には、上記S6に移行して上記データ数カウンタをリセットした後（S6）、最後に取り込んだ15個目の周波数データを1個目の周波数データとして上記メモリ35に格納し（S3）、上記周波数計測器31からの新しい周波数データを再び2個目の周波数データとして取り込みを開始する（S4）。

【0078】判定基準Dに示す傾きの外形は、上記X方向成分 $V_x$ が、1個目の周波数データの計測時から予め

設定された規定値以上の傾きをもって増加した後に予め設定されたもう1つの規定値以下の傾きをもって減少する場合を示している。すなわち、サンプリングした周波数データの中央部分にピークをもつ場合を示している。この判定基準Dに該当する場合、サンプリングされた周波数データは、ヘッド部分2aがちょうど測定点Oに達したときのものであると言える。従って、上記S11においてこの判定基準Dに該当すると判定された場合には、サンプリングした周波数データ中に測定点Oにおける周波数データが含まれているとして、これら周波数データを次のデータ処理工程に移行する。

【0079】判定基準Eに示す傾きの外形は、上記X方向成分 $V_x$ が、1個目の周波数データの計測時からしばらくの間はほとんど変化せず、その後所定の減少傾向をもつ場合を示している。すなわち、この判定基準Eに該当する場合、サンプリングされた周波数データは、ヘッド部分2aが測定点Oに達して通過したときのものであると言える。従って、上記S11においてこの判定基準Eに該当すると判定された場合には、サンプリングした周波数データ中に測定点Oにおける周波数データが含まれているとして、これら周波数データを次のデータ処理工程に移行する。

【0080】判定基準Fに示す傾きの外形は、上記X方向成分 $V_x$ が、1個目の周波数データの計測時から所定の減少傾向をもつ場合を示している。すなわち、この判定基準Eに該当する場合、サンプリングされた周波数データは、ヘッド部分2aが測定点Oを通過した後のものであると言える。この場合、これら周波数データ中には測定点Oにおける周波数データが含まれていない可能性がある。しかし、上記S5やS8において何度もデータ数カウンタがリセットされた場合、S1～S10までの処理工程を繰り返しているうちに、測定点Oにおける周波数データをとり過ぎてしまうことがある。

【0081】今までの判断基準A～Eに該当しないでの判定基準Fに該当したということは、この周波数データが測定点O直後にサンプリングされたものであると考えられ、また、この測定点O付近では図6に示すようにX方向成分 $V_x$ の速度変動は非常に少ない。従って、これら周波数データ中に測定点Oの周波数データが含まれていると推定することができる。そこで、上記S11においてこの判定基準Eに該当すると判定された場合には、サンプリングした周波数データ中に測定点Oにおける周波数データが含まれていると推定し、これら周波数データを次のデータ処理工程に移行する。

【0082】上記S11において上述した判定基準A～Fのどれに該当するかを判定する場合、本実施形態ではサンプリングした1個目と8個目と15個目の周波数データを用いて各判定基準A～Fとの比較を行う。尚、このS11においてはサンプリングした周波数データが上述した判定基準A～Fのどれに該当するかを判定でき

ればよく、上述した3つの周波数データを用いて比較する以外にも、例えば、2個目と8個目と14個目の周波数データを用いて比較したり、1、2及び3個目の平均値と、7、8及び9個目の平均値と、13、14及び15個目の平均値とを用いて比較したりしてもよい。また、このように3つの周波数データを用いて各判定基準のどれに該当するかを判定する方法以外に、例えば、適宜選択した4つや5つの周波数データ若しくは全ての周波数データを用いて判定してもよい。

【0083】また、このS11において、サンプリングした周波数データの傾きが増加しているのか、一定であるのか、あるいは減少しているのかを判断する際、場合によっては判定基準A～Fのどの判断基準に該当するのかが曖昧になるが、その区別が明確となるような規定値や所定範囲を適切に設定する必要がある。この規定値や所定範囲は、測定対象物の速さその他の運動特性に応じて適宜設定する。本実施形態では、どの判定基準に該当するかの判断を以下のように行う。このとき、どの判定基準にも該当しないデータはNGとして、上記判定基準A及びCと同様の処理を行う。

#### 【0084】1) 判定基準A

少なくとも8個目の周波数データよりも15個目の周波数データの方が大きく、これらデータに相当する速度の差が2 Km/h以上の時。本実施形態では、1個目と8個目との関係は無視する。

#### 2) 判定基準B

1個目の周波数データよりも8個目の周波数データの方が大きく、これらデータに相当する速度の差が10 Km/h以下であって、かつ、8個目の周波数データよりも15個目の周波数データの方が大きく、これらデータに相当する速度の差が2 Km/h以下の時。

#### 3) 判定基準C

1個目と8個目の周波数データの差に相当する速度差が1 Km/h以下であって、かつ、8個目と15個目の周波数データの差に相当する速度差が1 Km/h以下の時。

#### 4) 判定基準D

1個目の周波数データよりも8個目の周波数データの方が大きく、これらデータに相当する速度の差が1 Km/h以上10 Km/h以下であって、かつ、8個目の周波数データよりも15個目の周波数データの方が小さく、これらデータに相当する速度の差が1 Km/h以上10 Km/h以下の時。

#### 5) 判定基準E、F

1個目の周波数データよりも8個目の周波数データの方が小さく、これらデータに相当する速度の差が10 Km/h以下であって、かつ、8個目の周波数データよりも15個目の周波数データの方が小さく、これらデータに相当する速度の差が10 Km/h以下の時。

【0085】尚、上記判定基準についてはこれに限定さ

れるものではなく、測定速度範囲や測定対象物に応じて適宜設定すればよい。

【0086】このようにして図4に示す判定基準B、D、E、Fのいずれかに該当した周波数データは、次にその移動平均値を計算する(S12)。具体的には、1、2及び3個目の周波数データを足して3で割り、次に2、3及び4個目の周波数データを足して3で割るという計算を順次行い、その計算結果を上記メモリ35に格納する。取り込んだ周波数データが上記S8において規定変動範囲内にあると判断された場合であってもその周波数データにノイズが含まれている可能性があるもので、このように移動平均値を算出すれば、次のS13で最大値を検出するときにノイズによる最大値の誤差を低減することができる。ここでは、移動平均値を算出する際に3つのデータを用いたが、4つや5つのデータから移動平均値を算出してもよい。

【0087】次に、これら移動平均値の中の最大値を検出する(S13)。上述したように、サンプリングした周波数データ中の最大値を示す周波数データが測定点Oにおけるヘッド部分2aのものであるので、上記S12で計算した移動平均値の中の最大値を検出することで、測定点Oにおけるヘッド部分2aの周波数データを特定することができる。

【0088】以上、上記データ特定部32において、測定点Oにおけるヘッド部分2aの周波数データを特定したら、特定した周波数データを上記速度演算部33に出力する。この速度演算部33では、上記データ特定部32で特定された周波数 $F_{MAX}$ と上記超音波送波部10の基準発振器11から出力される基準周波数 $F_0$ とから、数1に示す演算式に基づいて測定点OにおけるX方向成分 $V_X$ を演算する。このとき、測定点OにおけるX方向成分 $V_X$ はヘッド速度 $V$ そのものであるので、この数1から直接ヘッド速度 $V$ を算出できる。ここで、数1に示す演算式中の記号Cは音速を示している。

【0089】

【数1】 $F_{MAX} - F_0 = 2 \cdot V \cdot F_0 / (C - V)$

【0090】また、上記数1に示す演算式で使用する音速Cは気温によって変動するので、正確な速度測定を行うためにはこの気温による音速変動を補正する必要がある。そこで、本実施形態では、上記温度計測器34によって計測された気温に基づいて数2に示す演算式から正確な音速を算出し、上記数1の演算式で使用する音速Cを補正する。尚、数2に示す演算式中の記号tは上記温度計測器34によって計測される気温を示している。

【0091】

【数2】 $C = 331.5 + 0.6 \cdot t \quad [m/sec]$

【0092】このようにして演算されたヘッド速度 $V$ は、上記表示器40に送られて、文字情報として利用者に表示される。尚、本実施形態では、測定したヘッド速度 $V$ を報知する報知手段としてヘッド速度 $V$ を表示器4

0に表示して出力する表示手段を用いた構成について説明したが、これ以外にも例えば測定したヘッド速度 $V$ を音声で出力する音声出力手段を用いてもよい。

【0093】以上、本実施形態によれば、略円運動体であるバット2のヘッド部分2aの線速度すなわち該バットのヘッド速度を正確に測定することができる。また、本実施形態に係る測定装置1は、サンプリング数を15個に限定してリアルタイムでデータ処理を行うので、バットスイングしたときにそのヘッド速度を表示させることができる。また、このようにサンプリング数を限定することで、全部のデータをサンプリングしてからデータ処理を行う場合に比べて、上記メモリ35のメモリ容量は小さくすることができ、装置の低コスト化、小規模化を図ることができる。

【0094】【変形例1】次に、本実施形態におけるデータ特定部32のデータ処理工程の変形例（以下、本変形例を「変形例1」という。）について説明する。上記S1やS4において上記データ特定部32に取り込まれる周波数データの中には、上記ヘッド部分2aからのドップラー信号成分によるもの以外のノイズ成分が含まれる。上記実施形態で説明したデータ処理工程においては、このようなノイズ成分による周波数データを取り込んだ場合、上記S5においては規定変動範囲内にないとして、又は上記S8においては規定変動範囲内にないとして、上記S6に移行しデータ数カウンターがリセットされる。従って、上記実施形態のようにサンプリング数が15個に設定されている場合、例えば11個目に取り込んだ周波数データがノイズ成分であると判断されたときには、ここまでサンプリングした10個の周波数データが無駄になってしまう。特に、判定基準EやFに該当するあたりの時間帯でデータ数カウンターがリセットされると、測定点Oにおけるヘッド部分2aの周波数データを取り過ごしてしまい、測定精度が悪化する。

【0095】そこで、本変形例では、所定数以上、例えば5個以上の周波数データを取り込んだ後にノイズ成分を取り込んでも、データ数カウンターをリセットせずにデータ処理を続行する構成としている。具体的には、5個目までの周波数データを取り込んだ後の例えば6個目の周波数データがノイズ成分であると判断された場合、上記S6及びS3のデータ処理を行わずに、そのまま上記S4に戻って上記周波数計測器31からの新しい周波数データを再び6個目の周波数データとして取り込む。

【0096】尚、再び6個目の周波数データとして取り込んだ周波数データは、上記S7において2個前の周波数データとの差の絶対値が算出されるので、上記S8における規定変動範囲を一時的に例えば2倍程度に広げるように修正する。また、ノイズ成分があまり多く取り込まれると測定精度の悪化につながるのので、例えば、該ノイズ成分の取込回数をカウントするノイズカウンターやノイズフラグを設けて、該ノイズ成分の数が所定数以上

になったときにはデータ数カウンタをリセットしてデータ処理工程を最初から開始するように構成するとよい。

【0097】〔変形例2〕次に、本実施形態におけるデータ特定部32のデータ処理工程の他の変形例（以下、本変形例を「変形例2」という。）について説明する。本変形例は、上記変形例1と同様に、データ処理工程の途中でノイズ成分が取り込まれてデータ処理をやり直すことによって発生する不具合を解消するものである。上記変形例1では、ノイズ成分を上記メモリ35に格納せずに無視して、次の新しい周波数データを取り込んでデータ処理を続行するように構成したが、本変形例では、ノイズ成分の前後で取り込まれた2つの周波数データの平均値を計算し、該平均値を該ノイズ成分が格納されるべき場所に格納する。このようにノイズ成分が取り込まれた部分を補充することにより、ほぼ等時間間隔で連続する周波数データをサンプリングすることができ、上記変形例1に比べてより現実に沿ったデータの補充をすることができる。

【0098】〔変形例3〕次に、本実施形態におけるデータ特定部32のデータ処理工程の更に他の変形例（以下、本変形例を「変形例3」という。）について説明する。上述した実施形態並びに変形例1及び2はリアルタイムでデータ処理を行う構成なのでバースティング中に、取り込んだ各周波数データに対してS3からS11までのデータ処理を行う。本変形例では、周波数データを格納する記憶手段として大容量のメモリを使用し、一旦すべての周波数データを取り込んで該メモリに格納するように構成する。この場合、周波数データをすべて取り込んだ後、上記データ特定部32によって、このメモリに格納された周波数データを用いて上述したデータ処理工程を開始する。

【0099】〔変形例4〕次に、本実施形態における信号選択部28の変形例（以下、本変形例を「変形例4」という。）について説明する。上述した実施形態並びに変形例1、2及び3においては、上記信号検出器群27から同時に複数の検出信号Sfが出力された場合、上記信号選択部28では最も周波数の高い検出信号を選択するようにして、受波したドップラー信号成分の中からヘッド部分2aに対応するものを抽出するように構成されている。しかし、上記信号検出器群27の信号検出器が検出可能な閾値を超える信号レベルをもつ帯域信号Seが1つしか存在しない場合には、該信号検出器群からは1つの検出信号しか出力されない。この場合、上記信号選択部28は、この検出信号に対応する帯域信号Sfをヘッド部分2aに対応するものとして抽出することになる。このため、ヘッド部分2a以外のドップラー信号成分が抽出されることがある。

【0100】このようにヘッド部分2a以外のドップラー信号成分が抽出された場合、その周波数データによる

X方向速度は図6に示したように経時変動が大きいのため、上記データ特定部32のデータ処理工程におけるS8で規定変動範囲を超えると判断され、測定結果に影響を及ぼすことはほとんどない。しかし、ごく希に、例えばバッタ3の身体による周波数データが、上記S8における規定変動範囲内に収まり、かつ、上記S11における判定基準を満たすと判定される場合がある。このような場合、上述した実施形態並びに変形例1、2及び3の測定装置においては、測定点における周波数データをサンプリングする前に、このバッタの身体の移動速度をヘッド速度として演算して速度測定を終了してしまう。

【0101】そこで、本変形例においては、上記信号選択部28を、上記信号検出器群27における最も高い周波数帯域HH用の信号検出器からの検出信号Sfのみを受け取り、該検出信号を受け取ったときだけ上記出力切換器29を制御して、該検出信号に対応する帯域信号Shを上記信号処理部30に出力させるように構成している。上述したバッタ3の身体等からのドップラー信号成分は、ヘッド部分2aに比べてその周波数帯域が低い。ため、このようなドップラー信号成分のほとんどは上記周波数帯域HH以外の周波数帯域用の信号検出器に検出される。従って、本変形例においては、上記信号選択部28において、このようなヘッド部分2a以外のドップラー信号成分を速度測定から除去することができ、誤測定を防ぐことが可能となる。

【0102】上述した実施形態並びに変形例1、2及び3の測定装置は、上記データ特定部32以外の構成が、上記X方向に略直線運動するボール等を測定する従来の速度測定装置とほぼ同じである。また、このデータ特定部32のデータ処理動作は、従来の速度測定装置に設けられた上記信号選択部28及び速度演算部33の動作を実行するCPU等の演算器によって行うことができる。すなわち、上記データ処理工程をこの演算器を動作させるアルゴリズムで実現すれば、既存の速度測定装置の構造をそのまま利用し、そのアルゴリズムを変更するだけで、略円運動体の線速度を測定することが可能となる。

【0103】また、これにより、例えば、ボールの球速を測定する機能と、バットのヘッド速度を測定する機能とを併せ持つ測定装置を提供することも可能となる。この場合、この測定装置に測定モードを切り換える切換手段を設け、ヘッド速度を測定するときには上記演算器が上記データ特定部32のデータ処理工程を実行し、ボールの球速を測定するときには該演算器が従来のボールの球速を測定するデータ処理工程を実行するようにすればよい。

【0104】尚、上述した実施形態並びに変形例1、2、3及び4においては、受波した超音波中のドップラーシフトを受けたドップラー信号成分の周波数を用いて



速度演算する構成について説明したが、本発明は、ドップラーシフトを受けた反射波のドップラー効果を利用して測定対象物の速度演算を行うことができる、例えば、上記ノッチフィルタ25の後に、該ノッチフィルタから出力された周波数F i のドップラー信号成分と基準周波数F o の基準信号とを混合する混合器としてのミキサを追加した構成としてもよい。この場合、上記フィルタ群26には、ドップラー信号成分ではなく、上記ミキサによって得られた差分周波数F d ( $F d = F i - F o$ )をもつ差分信号成分が入力されることになるので、これに対応して各部を適宜設定することになる。このとき、上記速度演算部33では、数1に示した演算式に $F d = F i - F o$ を代入して得られる演算式に基づいて速度演算をするように構成する。

【0105】また、上述した実施形態並びに変形例1、2、3及び4におけるフィルタ群26、信号検出器群27、信号選択部28、出力切換器29、周波数計測器31、データ特定部32及び速度演算部33に変え、アナログ信号をデジタル信号に変換するA/D変換器と、これら各部の機能を有するデジタル信号処理手段とで構成してもよい。このデジタル信号処理手段としては、DSPや高性能マイコン等を用いてもよい。尚、上記デジタル信号処理手段に持たせる機能は、上述したフィルタ群26、信号検出器群27、信号選択部28、出力切換器29、周波数計測器31、データ特定部32及び速度演算部33の機能に限定されるのではなく、該デジタル信号処理手段の処理能力に合わせてその範囲を適宜選択すればよい。

【0106】また、上述した実施形態並びに変形例1、2、3及び4においては、ヘッド速度の測定に使用する波として超音波を利用して構成について説明したが、本発明は、測定対象物に反射することができる、そのときのドップラー効果を利用して速度演算することができるものであれば、例えば電波やコヒーレントな光を利用することも可能である。

【0107】また、上述した実施形態並びに変形例1、2、3及び4においては、バットのヘッド速度を測定する測定装置に適用した態様について説明したが、本発明は、略円軌道を描いて運動する略円運動体、特に毎回異なる速度で運動するものであれば、例えば、ゴルフクラブのヘッド速度、円盤投げやハンマー投げの投擲時の回転速度を測定することも可能である。

【0108】

【発明の効果】請求項1乃至10の発明によれば、波を利用して線速度測定を行うため、従来より測定対象物である略円運動体から離れた位置から測定することができる略円運動体の線速度測定方法を提供することができるという優れた効果がある。また、受波したドップラー信号成分の中から測定点における略円運動体によるドップラー信号成分を特定することができるので、測定点にお

ける線速度を高い精度で測定することができるという優れた効果もある。

【0109】特に、請求項2の発明によれば、測定対象物に向けて送波した波その他のノイズによる影響を少なくすることができるので、より高い精度で線速度測定を行うことができるという優れた効果がある。

【0110】また、請求項3乃至8の発明によれば、サンプリング数が少なくても測定点における特定サンプリング値を特定することが可能となり、サンプリングデータを記憶する記憶手段の記憶容量を小さく抑え、装置の小型化、小規模化を図ることができるという優れた効果がある。

【0111】また、請求項4の発明によれば、ノイズ等によるサンプリングデータを除去して、誤計測の要因を低減することができるという優れた効果がある。

【0112】また、請求項5、6及び8の発明によれば、線速度測定がNGになる頻度を低くすることができるので、線速度測定の安定性を向上することができるという優れた効果がある。

【0113】また、請求項9の発明によれば、サンプリングデータ中にノイズが含まれている場合であっても、該ノイズによる測定誤差を軽微に抑えることができるので、より高い精度で線速度測定を行うことができるという優れた効果がある。

【0114】請求項10の発明によれば、太陽光に影響を受けずに速度測定を行うことができるので、屋外での測定が可能な略円運動体の線速度測定方法を提供することができるという優れた効果がある。

【0115】請求項11乃至14の発明によれば、波を利用して線速度測定を行うため、従来より測定対象物である略円運動体から離れた位置から測定することができる略円運動体の線速度測定装置を提供することができるという優れた効果がある。また、受波したドップラー信号成分の中から測定点における略円運動体によるドップラー信号成分を特定することができるので、測定点における線速度を高い精度で測定することができるという優れた効果もある。

【0116】特に、請求項12の発明によれば、測定対象物に向けて送波した波その他のノイズによる影響を少なくすることができるので、より高い精度で線速度測定を行うことができるという優れた効果がある。

【0117】また、請求項13の発明によれば、上述した請求項3、4、5、6、7又は8の線速度測定方法の効果をもって線速度測定を行うことができるという優れた効果がある。

【0118】また、請求項14の発明によれば、サンプリングデータ中にノイズが含まれている場合であっても、該ノイズによる測定誤差を軽微に抑えることができるので、より高い精度で線速度測定を行うことができるという優れた効果がある。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態における測定システムの概略構成図。

【図2】実施形態に係る測定装置の概略構成を示すブロック図。

【図3】同測定装置のデータ特定部におけるデータ処理動作を示すフローチャート。

【図4】同データ特徴部のデータ処理工程におけるデータ傾き判定に使用する判定基準表。

【図5】スイング時におけるバット位置の経時変化を示す概略図。

【図6】同バットスイング時における測定範囲内のX方向速度の時間に対する変化を示すグラフ。

## 【符号の説明】

1 測定装置

2 バット

2a ヘッド部分

3 バッテリ

10 超音波送波器

13 超音波送波器

20 超音波受波器

21 超音波受波器

25 ノッチフィルタ

26 フィルタ群

27 信号検出器群

28 信号選択部

29 出力切替器

30 信号処理部

31 周波数計測器

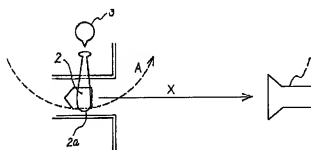
32 データ特定部

33 速度演算部

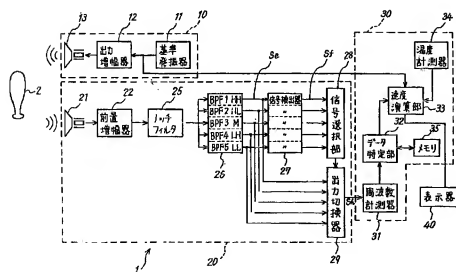
34 温度計測器

40 表示器

【図1】



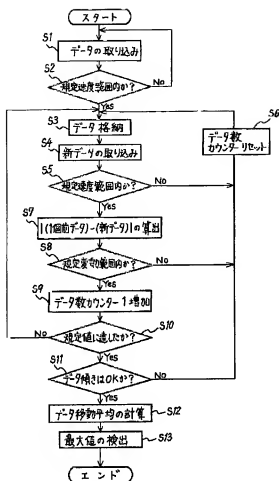
【図2】



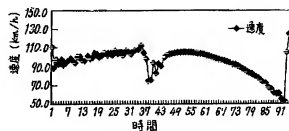
【図4】

	傾き	判定結果
A		NG
B		OK
C		NG
D		OK
E		OK
F		OK

【図3】



【図6】



【図5】

